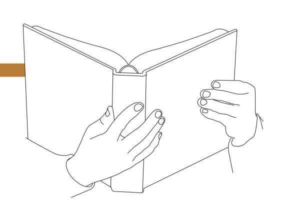


머 | 리 | 말



우리나라는 1962년 공업 입국을 시작으로 계속 발전하여 오늘날에는 G20 국가로서 선진국 대열에 서 있다. 그 동안 공업 고등학교의 교육은 국가의 강력한 행·재정 지원에 힘입어 육성되었으며 우리나라 공업 발전에 큰 역할을 해 왔다.

이 교과서는 2007 개정 교육 과정에 따라 교육과학기술부가 한국직업능력개발원에 편찬 위탁을 하여 개발된 것으로, 책 내용의 그림과 사진을 종전의 2도에서 4도로 인쇄하고 그림을 새롭게 하였다.

최근의 교과서는 단순히 지식 정보 전달의 매체를 벗어나 학생들이 흥미를 가지고 창의력을 갖출 수 있게 내용이 디자인되어야 하며, 교사가 교수·학습의 효과를 극대화할 수 있게 편찬되어야 한다.

이 교과서의 특징을 요약하면 다음과 같다.

1. 대단원마다 관련 사진을 게재하고 중단원명과 대단원의 도입 배경을 제시하여 학습 안내를 하였다.
2. 중단원 도입부에 학습 목표를 제시하여 학습에 흥미를 가지게 하였다.
3. 대단원 끝 부분에 단원 종합 과제를 제시하여 대단원 학습 내용을 바탕으로 하여 스스로 해결할 수 있는 종합적인 문제를 제시함으로써 문제 해결 능력과 창의적 사고 능력을 기를 수 있게 하였다.
4. 대단원 마지막에 인용 및 참고 문헌을 제시하여 필요 시에 참고할 수 있게 하였다.

이 책을 학습함으로써 전기 기기에 대한 지식과 기술을 습득하여 자신의 발전은 물론 국가 발전에 기여하기 바란다.

차례

Ⅱ

Ⅱ. 유도기

변재영

차례



V

V. 전동기 응용

정재륜

I

직류기

1. 직류기의 원리와 구조
2. 직류 발전기의 종류와 특성
3. 직류 발전기의 병렬 운전
4. 직류 전동기의 종류와 특성
5. 직류 전동기의 부하 특성
6. 직류 전동기의 속도 제어
7. 직류기의 측정과 검사
8. 직류기의 효율과 정격





우리는 일상생활에서 전기 에너지를 이용하여 편리한 삶을 살아가고 있다. 전기 기기 중에서 직류 전기 에너지를 발생시키는 직류 발전기와 직류 전기 에너지를 이용하여 회전력을 얻는 직류 전동기를 직류기라고 한다.

이 단원에서는 직류 발전기와 직류 전동기의 구조와 원리, 그리고 종류와 특성에 대하여 알아보기로 한다.



직류기의 원리와 구조

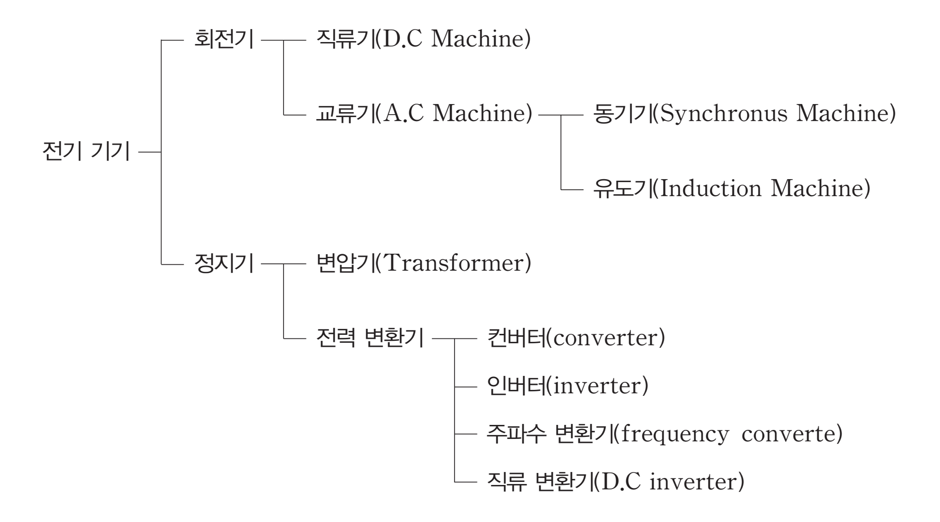
학습 목표 |

1. 직류기의 개념을 이해하고 설명할 수 있다.
2. 전자 유도 현상을 이해하고 설명할 수 있다.
3. 직류 발전기와 직류 전동기의 종류와 동작 원리를 설명할 수 있다.

1 직류기의 이해

1. 전기 기기 개요

전기 기기(Electric Machines)는 기계 에너지를 전기 에너지로, 전기 에너지를 기계 에너지로, 전기 에너지를 또 다른 전기 에너지로 변환하는 장치를 통칭하는 표현이다. 기계적 특성에 따라 다음과 같이 회전기와 정지기로 분류할 수 있다.



회전기(回轉機)는 움직이는 장치로서 회전력을 이용하여 전기 에너지를 발생시키는 발전기와 전기 에너지를 이용하여 회전력을 발생시키는 전동기를 포함한다. 정지기(停止器)는 정지된 상태에서 전기 에너지의 형태를 변환하는 장치로서 전압과 전력을 변환하는 기능을 가지고 있는 변압기, 주파수 변환기, 컨버터, 인버터를 포함한다. 모든 전동기와 발전기는 자계의 작용을 이용하여 에너지의 형태를 변환시킬 수 있다. 변압기는 일정 크기의 전압을 가진 교류 에너지를 다른 크기의 전압을 가진 교류 에너지

로 바꾸어 주는 장치로서, 발전기나 전동기와 같이 자계의 변화를 이용하기 때문에 함께 살펴 보려고 한다.

2. 직류기 개요

직류기(D.C Machine)는 회전하는 전기 기기 중에서 직류 발전기와 직류 전동기를 통칭하는 표현이다. 직류 발전기는 기계적인 회전력을 이용하여 직류 전기를 발생시키는 장치이고, 직류 전동기는 직류 전기를 이용하여 기계적인 회전력을 발생시키는 장치이다.

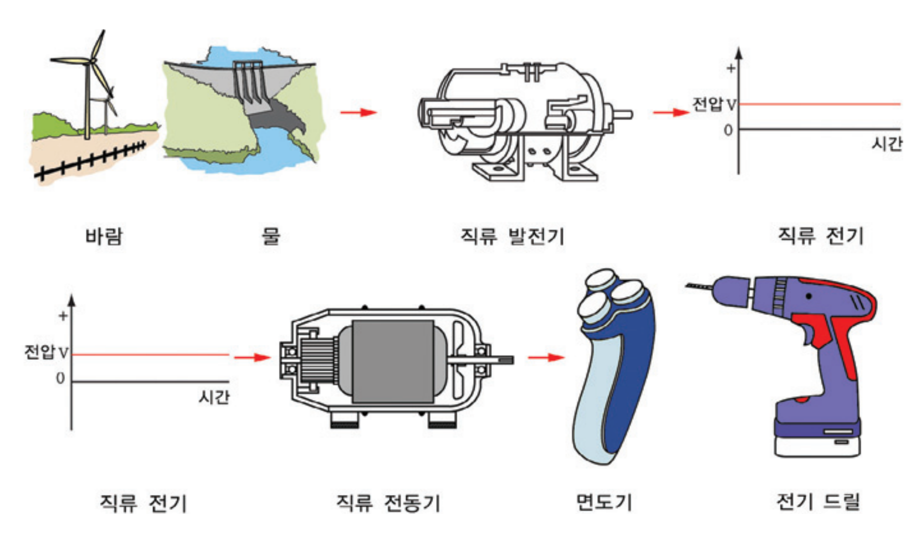


그림 Ⅰ-1 직류 발전기와 직류 전동기의 에너지 변환

3. 직류기의 종류

(1) 직류 발전기

우리가 일상생활에서 사용하는 직류 전기 에너지의 대부분은 건전지, 축전지에서 얻거나 정류기를 이용하여 교류 전기를 직류 전기로 변환하기 때문에 직류 발전기(D.C generator)는 쉽게 찾아 볼 수는 없다. 일반적으로 직류 발전기는 전기 분해, 축전지 충전, 아크 용접 등과 같은 특수한 산업 현장에서 사용하고 있다.

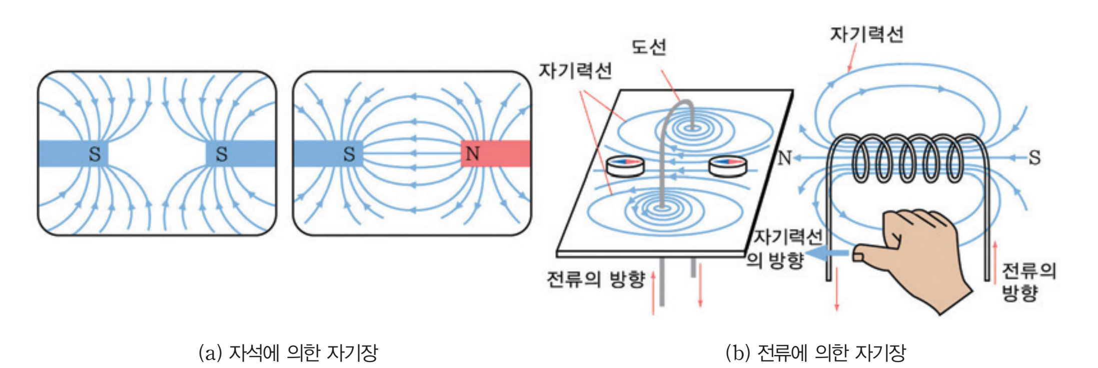
(2) 직류 전동기

직류 전동기(D.C motor)는 속도 제어와 회전 방향을 쉽게 바꿀 수 있으며, 급격한 부하가 전동기에 가해져도 큰 힘을 발생할 수 있기 때문에 산업 현장에서 다양한 용도로 사용되고 있다. 또, 속도 제어가 우수하며 큰 회전력을 얻을 수 있는 장점 때문에 전기 철도, 제철소 압연기 등과 같은 분야에 사용되고 있다.

2 직류 발전기의 원리

1. 전자 유도

자석은 그림 I-2의 (a)와 같이 서로 밀어내거나 끌어당기는 힘, 즉 자기력을 가지고 있다. 이러한 자기력이 미치는 공간을 자기장 또는 자계라고 한다. 또, 그림 I-2의 (b)와 같이 도체에 전류를 흘리면 도체 주위에도 자기장이 형성된다.



(a) 자석에 의한 자기장 (b) 전류에 의한 자기장

그림 I-2 자석에 의한 자기장과 전류에 의한 자기장

그림 I-3과 같이 도체(코일)를 고정시키고 자석을 움직이면 도체에 전류가 흐르게 된다. 반대로 자석을 고정시키고 도체를 움직여도 도체에 전류가 흐르게 된다. 이와 같이, 자기장의 변화에 의하여 도체에 기전력이 발생되는 현상을 전자 유도라고 한다.

전자 유도는 영국의 패러데이가 발견하였으며, 전자 유도에 의하여 발생되는 전기 에너지는 자기력의 세기가 크거나 도체 또는 자석의 움직임이 빠를수록 증가한다. 전자 유도 현상은 전기 에너지를 발생시키는 발전기의 가장 기본적인 원리이다.

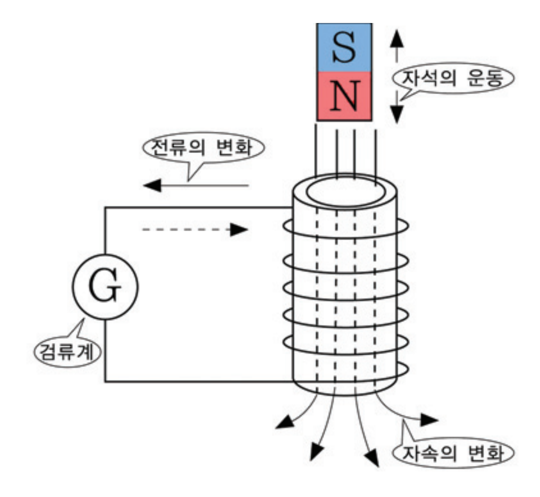


그림 I-3 전자 유도 현상

실습 과제 1

전자 유도 현상을 이용한 기전력 측정

<도면>

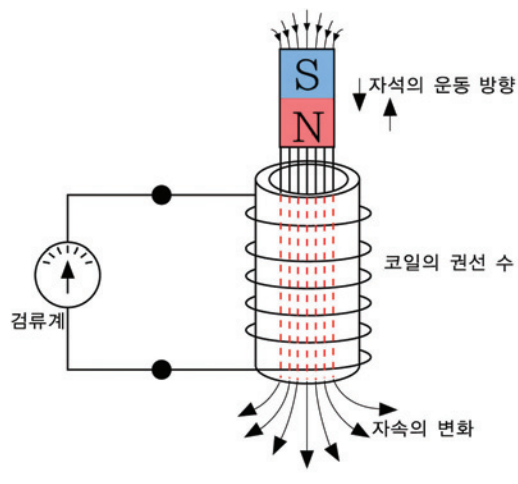


그림 Ⅰ-4 전자 유도 현상의 측정

사용 재료와 기기

코일, 막대 자석, 플라스틱 파이프(지름 5 cm, 길이 15 cm), 검류계, 악어 클립

안전과 유의 사항

1. 막대 자석은 자기력이 강한 것을 사용한다.
2. 검류계는 감도가 좋은 것을 사용하며, 실험하는 동안 흔들리지 않게 한다.
3. 검류계와 코일 사이는 적어도 1 m 이상 거리를 두고 실험한다.

실습 순서

1. 그림 Ⅰ-4와 같이 플라스틱 파이프 표면에 코일을 고르게 감는다.
2. 코일의 양 끝과 검류계의 단자를 연결한다.
3. 자석의 N극을 코일에 넣을 때와 뺄 때에 검류계 바늘의 움직임을 관찰한다.
4. 자석의 S극을 코일에 넣을 때와 뺄 때에 검류계 바늘의 움직임을 관찰한다.
5. 자석의 움직이는 속도를 달리 하면서 검류계 바늘의 움직임을 관찰한다.

6. 자석의 세기를 달리 하면서 검류계 바늘의 움직임을 관찰한다.

7. 코일의 감은 횟수를 달리 하면서 검류계 바늘의 움직임을 관찰한다.

8. 자석을 코일 안에서 움직이지 않을 때에 검류계 바늘의 움직임을 관찰한다.

결과 정리

구분		검류계의 움직임 방향	검류계 바늘의 움직임 정도
N극	들어갈 때		
	나갈 때		
S극	들어갈 때		
	나갈 때		
자석의 세기가 강할 때			
자석의 움직임이 빠를 때			
코일의 감은 횟수가 많을 때			

읽을거리 마이클 패러데이



패러데이(Faraday, Michael, 1791～1867)

페러데이는 영국의 물리학자·화학자로서 어린 시절에 빵 한 덩어리로 일주일을 버티어야 할 만큼 매우 가난한 집안에서 태어났으며 정규 교육을 받지 못하였다. 오직 교회 주일 학교에서 읽기·쓰기·셈하기 등을 배운 것이 그가 받은 교육의 전부였지만 독학에 의하여 물리 분야와 화학 분야의 발전에 큰 공헌을 하였다.

가난으로 인하여, 14세에 돈을 벌기 위하여 서점과 제본소에서 일을 하였으며, 이때, 전기(電氣)에 관련된 책을 읽고 과학에 매료되었다. 21세에 영국의 유명한 과학자인 H. 데이비의 실험실 조교로 취직하게 되면서부터 화학과 물리 분야에 대한 연구를 통하여 전기 분해와 관련된 『패러데이 법칙』, 발전기 원리가 되는 『전자기 유도』, 자석과 물질과의 관계를 다룬 『자기학』 등에서 다양한 이론과 법칙을 제안하였다.

2. 플레밍의 오른손 법칙

전자 유도 현상에 의하여 발생되는 전기 에너지의 방향은 어떻게 결정할 수 있을까? 플레밍은 자기력을 발생시킬 수 있는 자석과 코일을 이용하여 이러한 의문을 해결하였다.

그림 I－5의 (a)와 같이 N극에서 S극 방향으로 자기력선속이 발생하고 있는 자기장 공간에 자기력선속의 진행 방향에 대하여 직각으로 도체를 움직이면 기전력이 발생한다.

이때, 발생하는 기전력의 방향은 그림 I－5의 (b)와 같이 설명할 수 있으며, 이러한 법칙을 플레밍의 오른손 법칙이라고 한다.

기전력을 e[V], 자석의 자기력선속 밀도 B[Wb/m^2], 도체의 길이를 l[m], 도체의 운동 속도를 v[m/s]라 할 때, 플레밍의 오른손 법칙에 의하여 발생되는 기전력은 다음과 같다.

$$e = Blv \text{[V]} \qquad (\text{I}-1)$$

즉, 발생되는 기전력의 세기는 자기력선속 밀도, 도체의 길이, 도체의 운동 속도에 의하여 결정된다.

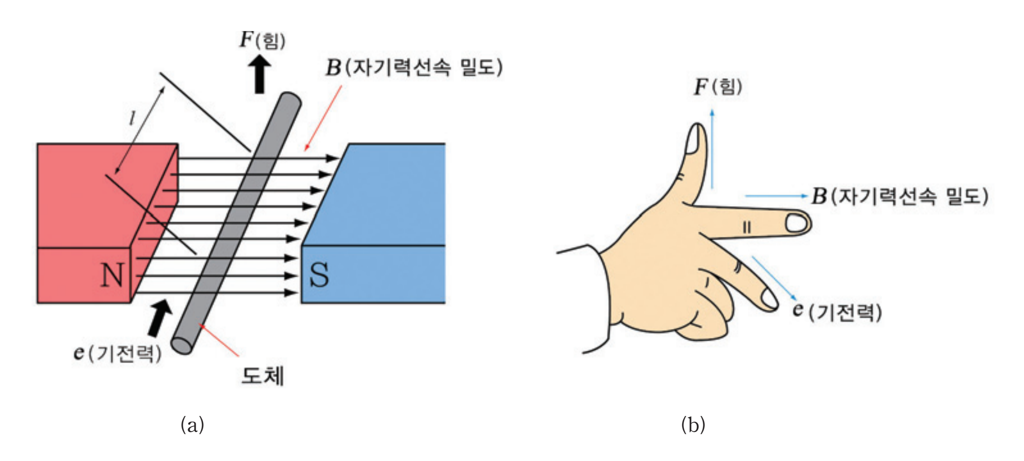
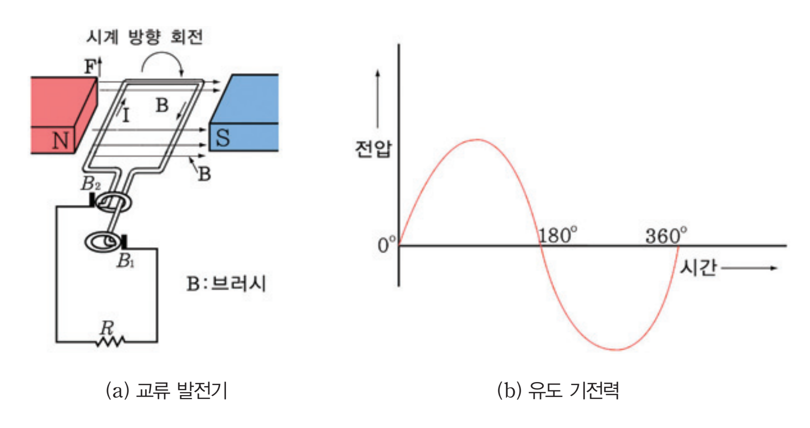


그림 I－5 플레밍의 오른손 법칙

3. 직류 발전기의 원리

발전기는 플레밍의 오른손 법칙을 이용하여 설명할 수 있다. 그림 I－6의 (a)와 같이 일정한 세기의 자기장 안에서 도체를 자기장에 대하여 직각 방향으로 놓고 회전시키면 기전력이 발생한다. 이때, 플레밍의 오른손 법칙에 의하여 화살표 방향으로 전류

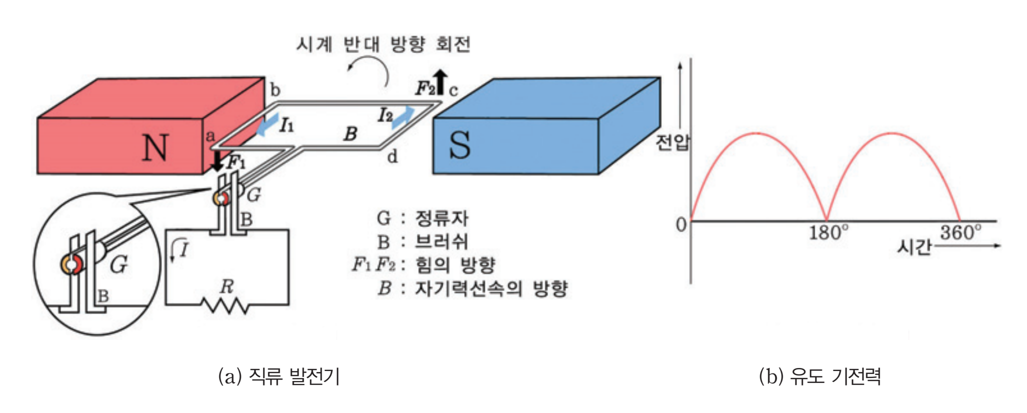


(a) 교류 발전기　　(b) 유도 기전력

그림 Ⅰ-6 교류 발전기의 원리

가 흐른다. 도체가 자기장 안에서 한 바퀴 회전하면 그림 Ⅰ-6의 (b)와 같이 1주기의 교류 기전력이 발생된다.

발전기에서 발생된 교류 전기를 직류로 변환시키기 위하여는 발전기에 정류 장치를 추가하여 직류 전압을 얻을 수 있다. 정류 장치는 그림 Ⅰ-7과 같이 반원 형태의 링 모양으로 만든 정류자를 이용하고 있다.

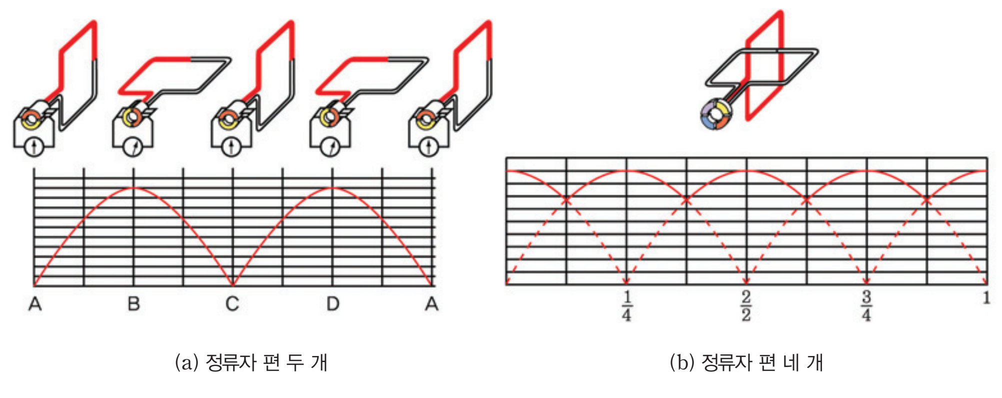


(a) 직류 발전기　　(b) 유도 기전력

그림 Ⅰ-7 직류 발전기의 원리

발전기에서 발생되는 기전력 $e = Blv$[V]이므로 전압의 크기를 증가시키기 위하여는 자기력선속의 세기, 도체의 길이, 도체의 운동 속도 중의 하나라도 증가시키면 된다.

직류 발전기를 통하여 얻을 수 있는 전류는 맥동율이 크기 때문에 산업 현장이나 실생활에 바로 사용할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여는 완전한 직류 형태로 만들어 주어야 한다. 완전한 직류 전류를 얻기 위하여는 그림 Ⅰ-8과 같이 정류자의 편수를 증가시키면 맥동율을 줄여서 양질의 직류를 얻을 수 있다.



(a) 정류자 편 두 개　　　　(b) 정류자 편 네 개

그림 Ⅰ-8 정류자 편수에 따른 맥동률 변화

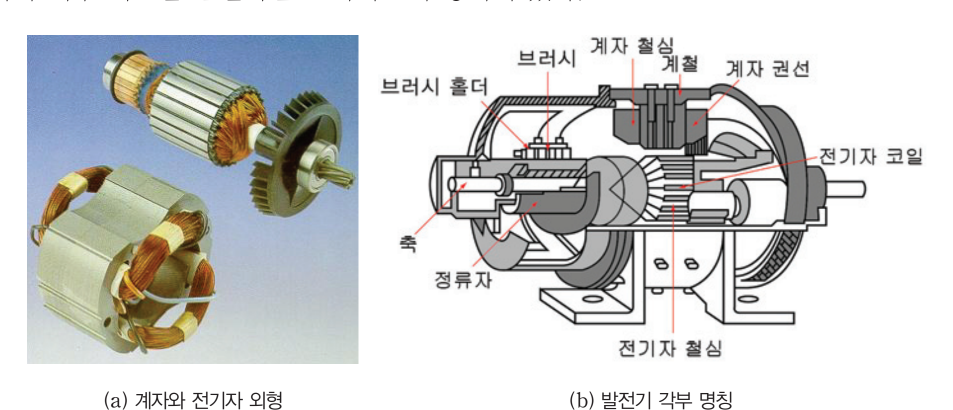
예제 자기력선속 밀도가 0.8[Wb/m^2]인 자기장 속에 길이 0.5[m]의 도체를 놓고 30[m/s]의 속도로 움직일 때에 도체에 발생되는 기전력은 몇 [V]인가?

풀이 | 도체에서 발생하는 기전력의 세기는 $e=Blv$[V]의 식을 이용하면 된다.

$$e=Blv[\mathrm{V}]=0.8\times0.5\times30=12[\mathrm{V}]$$

4. 직류 발전기의 구조

직류 발전기의 구조는 그림 Ⅰ-9와 같이 기계적으로 고정된 부분인 고정자와 회전하는 부분인 회전자, 그리고 발전된 교류 전류를 직류 전류로 변환시키는 정류자, 발전기와 외부 회로를 연결하는 브러시로 구성되어 있다.



(a) 계자와 전기자 외형　　　　(b) 발전기 각부 명칭

그림 Ⅰ-9 직류 발전기의 구조

(1) 계자

계자(field magnet)는 자기력을 발생시키는 역할을 하며, 영구 자석이나 전자석을 사용할 수 있는데, 일반적으로 직류 발전기의 계자는 전자석을 사용하고 있다. 계



(a) 계자 철심



(b) 권선이 감긴 모양

그림 Ⅰ-10 계자 철심과 권선이 감긴 모양

자는 계자 철심과 계자 권선으로 구성되어 있다. 계자 철심은 내부에 홈(slot)을 내어 계자 권선을 삽입한 뒤에 계자 권선을 고정시키는 역할은 물론, 권선에서 발생된 자기력선속을 한 곳으로 집중시키는 통로의 역할을 하고 있다. 계자 철심은 철손을 감소시키기 위해 규소 강판을 여러 장 겹쳐 쌓아서 만든 성층 철심으로 제작한다.

(2) 전기자

전기자(armature)는 기전력을 발생하는 역할을 하는 것으로 일반적으로 회전하는 구조로 되어 있으며, 전기자 철심과 전기자 권선으로 구성되어 있다.

전기자 철심은 자기 회로를 만드는 역할과 표면에 홈(slot)을 내어 전기자 권선을 삽입한 뒤에 전기자 권선을 고정시키는 역할을 한다. 전기자 철심은 철손을 감소시키기 위하여 규소 강판을 여러 장 겹쳐 쌓아서 만든 성층 철심으로 제작하고, 전기자 권선은 도전율이 높은 구리 선을 이용하고 있다.



(a) 전기자 철심



(b) 권선이 감긴 모양

그림 Ⅰ-11 전기자 철심과 권선이 감긴 모양



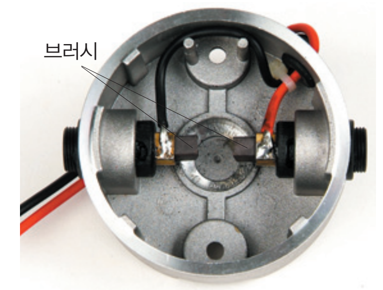


그림 Ⅰ-12 정류자와 브러시

(3) 정류자

정류자(commutator)는 전기자에서 발생된 교류 기전력을 직류로 바꾸어 주는 역할을 한다. 브러시와 접촉하여 마찰과 불꽃 등에 의하여 고온이 되므로 전기와 기계적으로 충분히 튼튼하게 만들어야 한다.

(4) 브러시

브러시(brush)는 정류자 표면에 접촉하여 전기자 권선과 외부 회로를 연결시켜 주는 장치로, 발전기에서 발생된 기전력을 외부의 전기 회로에 전달하는 역할을 한다. 브러시는 기계적으로 튼튼하며, 마멸성이 작아서 정류자 표면을 손상시키는 정도가 낮아야 한다.

브러시의 종류에는 주재료의 함유량에 따라 탄소 브러시, 금속 브러시 등으로 구분할 수 있다. 탄소 브러시는 소형과 저속의 발전기에, 금속 브러시는 저전압 대전류 발전기에 주로 사용하고 있다.

5. 전기자 반작용

직류 발전기의 전기자 전류가 흐를 때에 발생한 자기력이 계자의 자기력선속 분포에 영향을 주는 것을 전기자 반작용이라고 한다. 전기자 반작용은 자기력선속의 분포를 찌그러뜨려 중성축을 이동시키고, 브러시와 정류자 사이에 불꽃을 발생시킨다. 또, 계자의 자기력선속을 감소시켜 기전력을 감소시킨다.

전기자 반작용을 방지하기 위하여는 다음과 같은 대책이 필요하다.

첫째, 브러시의 위치를 전기적 중성점(자기력선속 밀도가 0이 되는 위치)으로 이동시킨다.

둘째, 보극(계자 이외의 또 다른 계자)을 설치한다.

셋째, 보상 권선(계자 권선 이외의 또 다른 권선)을 설치한다.

3 직류 전동기의 원리

1. 전동기의 회전 원리

직류 전동기는 직류 전류를 이용하여 기계적 에너지인 회전력을 얻는 기계로서 휴대 전화에 사용되는 소형 전동기, 산업용으로 사용되는 대형 전동기에 이르기까지 우리 생활의 다양한 영역에서 사용되고 있다. 직류 전동기는 전기 에너지를 회전력으로 어떻게 변환시키는지 살펴보자.

그림 Ⅰ-13의 (a)와 같이 자기장 안에 있는 도체에 전류가 흐르면 도체는 오른쪽으로 움직이기 시작한다. 이것은 전류가 흐르는 도체가 자기장 안에서 자기력에 의하여 힘을 받는다는 것을 나타낸다. 자석의 방향을 바꾸거나 전류의 방향을 바꾸어 가면서 도체가 받는 힘의 방향을 살펴보면 그림 Ⅰ-13의 (b)와 같이 전류의 방향과 직각의 관계가 있다.

이와 같이, 전류와 자기장 사이에 작용하는 힘을 전자력이라고 한다. 이러한 현상은 플레밍의 왼손 법칙을 이용하여 설명할 수 있다.

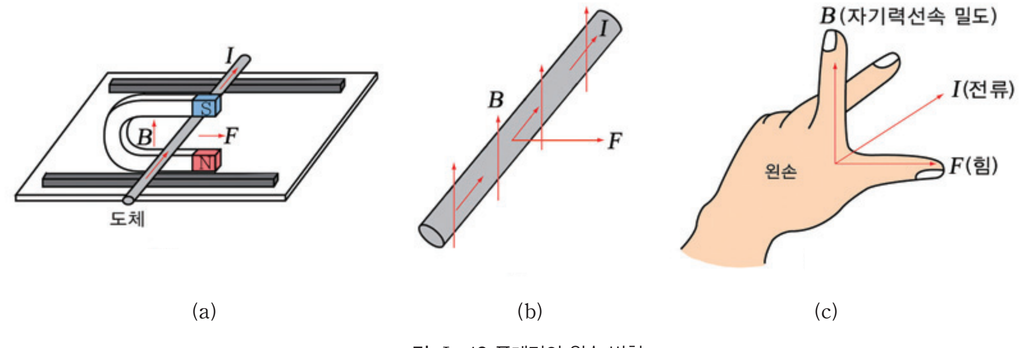


그림 Ⅰ-13 플레밍의 왼손 법칙

2. 플레밍의 왼손 법칙

그림 Ⅰ-13의 (c)와 같이 왼손의 엄지, 검지, 중지를 서로 직각이 되게 벌리고 중지를 전류의 방향, 검지를 자기력선의 방향으로 하면 도체가 받는 힘의 방향은 엄지가 가리키는 방향이다. 플레밍의 왼손 법칙은 전동기의 회전 방향을 결정할 때에 사용된다.

자기력선속 밀도를 B[Wb/m^2], 도체의 길이를 l[m], 도체에 흐르는 전류를 I[A], 도체가 받는 힘을 F[N]이라고 할 때에 도체가 받는 힘 F는 다음과 같다.

$$F = BlI\,[\mathrm{N}] \qquad (\mathrm{I}-2)$$

즉, 전동기의 회전력을 결정하는 요소는 자기력선속 밀도, 도체의 길이, 전류의 세기이다.

3. 직류 전동기의 구조

직류 전원을 이용하여 회전력을 발생시키는 직류 전동기의 구조는 직류 발전기와 같이 고정자와 회전자로 구분할 수 있다.

고정자는 계자와 프레임으로 구성되어 있으며, 극당 한 개 이상의 권선이 있다. 회전자는 일반적으로 전기자라고 하며, 전기자의 축에 기계를 부착하여 회전력을 이용할 수 있다. 이 밖에도 직류 발전기의 구조에서 살펴본 정류자와 브러시가 있다.

브러시는 외부에서 공급되는 전류를 전동기에 전달하는 역할을 하며, 정류자는 외부에서 공급된 전류를 전기자에 전달하는 역할을 한다.

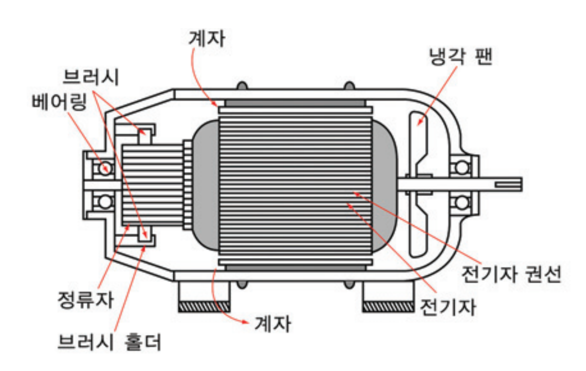


그림 Ⅰ-14 직류 전동기의 구조

읽을거리 플레밍



플레밍(Fleming, John Ambrose, 1849~1945)

영국의 물리학자, 전기 공학자로서 1870년에 런던 대학 졸업 후에 J. C. 맥스웰의 『전자기학』에 심취하여 1877년에 케임브리지 대학에 입학하여 맥스웰의 지도를 받았다. 1881년부터 10년 동안 런던의 에디슨 전등 회사 기술 고문, 1900년부터 25년 동안 마르코니 무선 전신 회사 기술 고문을 지내면서 영국의 전등과 전화 개척에 큰 역할을 하였다.

1885년에 전류·자기장·도체 운동의 3방향에 관한 『플레밍 법칙』을 발표하여 전기 기술의 기초를 쉽게 이해할 수 있게 하였다. 이 밖에 에디슨이 발견한 열전자 방출 현상에서 힌트를 얻어 무선 전신 검파 장치에 쓰이는 2극 진공관을 발명하여 1904년 특허를 받았다.



직류 발전기의 종류와 특성

학습 목표 |

1. 직류 발전기의 분류 기준과 종류에 대하여 설명할 수 있다.
2. 직류 발전기의 특성을 이해하고 설명할 수 있다.

1 발전기의 종류

발전기의 종류는 출력 전원에 따라 직류 발전기, 교류 발전기로 분류할 수 있으며 이 밖에도 용도, 여자 방법, 회전자와 계자의 구성 방법에 따라 다양한 형태로 분류할 수 있다.

1. 발전기의 분류

① **원동기에 의한 분류**: 발전기를 회전시키기 위하여 사용하는 동력원에 의하여 분류한다.

예 수차 발전기, 터빈 발전기, 내연 기관 발전기, 풍력 발전기 등

② **출력 전류에 의한 분류**: 발전기에서 발생되는 전류의 형태에 따라 분류한다.

예 교류 발전기, 직류 발전기 등

③ **회전자의 구성에 의한 분류**: 발전기를 구성하는 부분 중에서 외부 동력에 의하여 회전을 하는 부분의 구성에 따라 분류한다.

예 회전 계자형 발전기, 회전 전기자형 발전기 등

④ **여자 방식에 의한 분류**: 자기력을 발생시키기 위하여 계자 권선에 전원을 공급하는 방법에 따라 분류한다.

예 자여자 발전기, 타여자 발전기 등

2. 직류 발전기의 여자

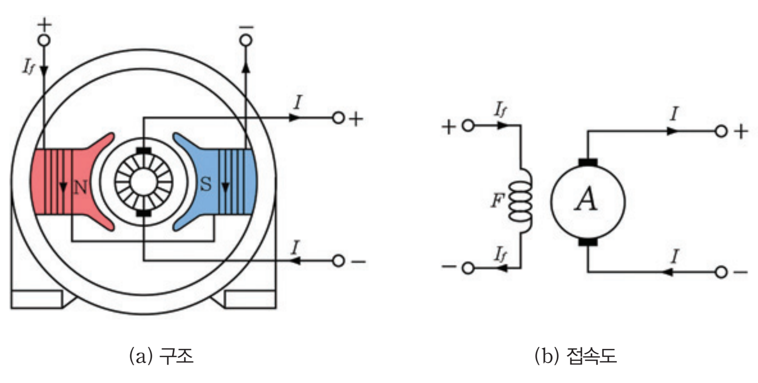
직류 발전기를 이용하여 전기를 발생시키기 위하여는 발전기의 계자에서 자기력을 공급하여야 한다. 계자는 영구 자석 또는 전자석을 사용할 수 있는데 일반적으로 전자석을 사용하여 자기력을 얻고 있다. 전자석을 이용하면 밀도가 높고, 큰 자기력선속을 얻을 수 있다.

자기력선속을 얻기 위하여 발전기의 계자 권선에 전류를 흘려 전자석을 만드는 과정을 여자(exciting)라고 한다. 직류 발전기의 계자에서 발생되는 자기력의 세기는 계자 권선에 흐르는 전류의 세기와 권선의 감은 횟수에 따라 결정된다.

3. 여자 방식에 따른 직류 발전기 종류

(1) 타여자 발전기

발전기의 계자를 여자시킬 때에 그림 Ⅰ－15와 같이 외부의 직류 전원을 이용하여 계자를 여자시키는 방법을 타여자 방식이라고 하며, 이러한 형태의 발전기를 타여자(separately excited) 발전기라고 한다.



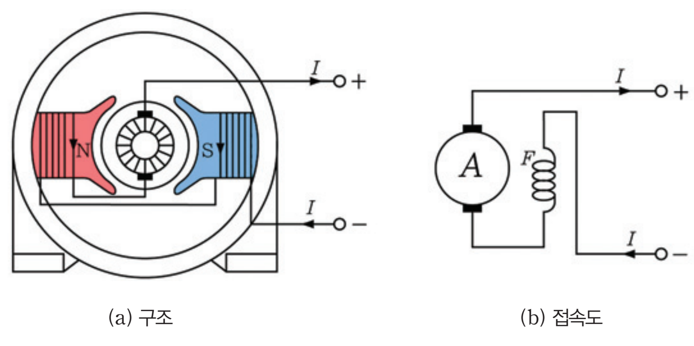
(a) 구조 (b) 접속도

그림 Ⅰ－15 타여자 발전기

(2) 자여자 발전기

자여자(self excited) 발전기는 발전기 계자를 여자시킬 때에 발전기 자체의 직류 전원을 이용하여 계자를 여자시키는 방법을 자여자 방식이라고 하며, 계자 권선과 전기자 권선의 배치 방법에 따라 직권 발전기, 분권 발전기, 복권 발전기 등으로 분류한다.

1) 직권 발전기



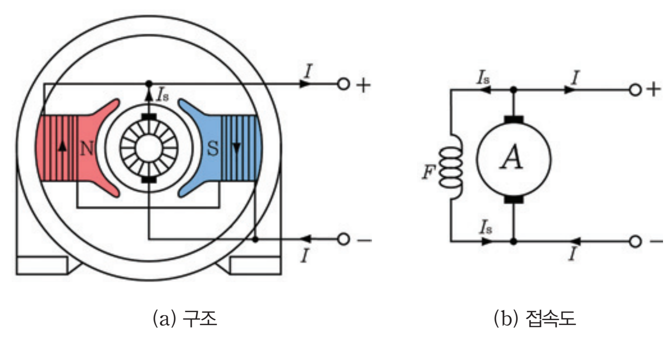
(a) 구조 (b) 접속도

그림 Ⅰ－16 직권 발전기

직권(series) 발전기는 계자 권선과 전기자 권선이 그림 Ⅰ-16과 같이 직렬로 연결되어 있다. 계자 권선에 흐르는 전류의 세기가 크기 때문에 계자 권선은 지름이 굵은 것을 사용하며 감는 횟수는 적게 한다.

2) 분권 발전기

분권(shunt) 발전기는 계자 권선과 전기자 권선이 그림 Ⅰ-17과 같이 병렬로 연결되어 있다.



(a) 구조　　(b) 접속도

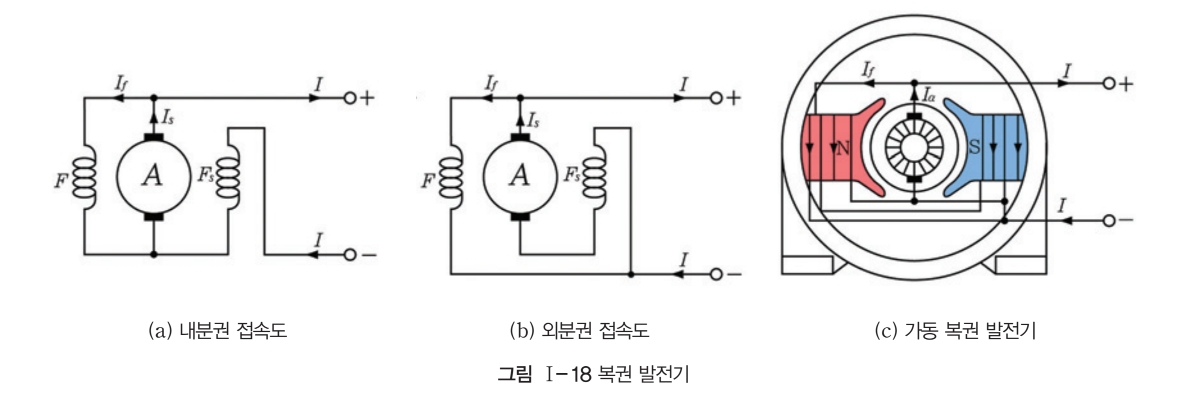
그림 Ⅰ-17 분권 발전기

3) 복권 발전기

복권(compound) 발전기는 계자 권선과 전기자 권선이 그림 Ⅰ-18과 같이 직렬로 연결된 직권 계자 구조와 병렬로 연결된 분권 계자 구조가 복합되어 있다.

복권 발전기는 직권 계자에 흐르는 전류와 분권 계자에 흐르는 전류가 서로 반대 방향일 때에는 계자에서 발생되는 자기력이 감소된다. 이러한 발전기를 차동 복권 발전기라고 한다.

이와 반대로, 직권 계자에 흐르는 전류와 분권 계자에 흐르는 전류가 같은 방향일 때에는 계자에서 발생되는 자기력이 상승된다. 이러한 발전기를 가동 복권 발전기라고 한다.



(a) 내분권 접속도　　(b) 외분권 접속도　　(c) 가동 복권 발전기

그림 Ⅰ-18 복권 발전기

2 발전기의 특성

발전기가 가지고 있는 특성을 살펴보기 위하여는 부하 전류, 계자 전류, 전기자 전류, 유도 기전력, 단자 전압, 회전 속도 등을 알아야 한다.

계자 전류를 I_f[A], 전기자 전류를 I_a[A], 부하 전류를 I[A], 유도 기전력을 E[V], 단자 전압을 V[V], 회전 속도를 N[rpm]이라고 할 때, 이들 사이의 관계를 발전기의 특성이라고 하며, 그래프로 나타내는 곡선을 특성 곡선이라고 한다.

발전기의 특성에는 부하가 연결되지 않은 상태의 무부하 특성과 부하가 연결된 상태의 외부 특성이 있다.

1. 타여자 발전기의 특성

(1) 무부하 특성

발전기가 정격 속도로 회전하면서 부하가 연결되지 않은 상태에서 계자 전류 I_f와 유도 기전력 E의 관계를 나타낸 것을 무부하 특성이라고도 한다. 그림 I-19와 같이 전기자 저항이 R_a이고 전기자 전류가 I_a인 타여자 발전기가 무부하 상태일 때에 발생되는 유도 기전력 E와 부하에 입력되는 단자 전압 V와의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = E - I_a R_a \text{[V]} \qquad (\text{I}-3)$$

$$E = V + I_a R_a \text{[V]} \qquad (\text{I}-4)$$

무부하 상태에서는 단자 전압 $V=E$가 되며, 부하 전류 $I=I_a=0$이 된다. 발전기의 속도를 일정하게 유지하고 계자 조정기의 계자 저항 R_f를 조정하면 그림 I-20과 같이 계자 전류 I_f[A]는 점점 증가한다. 그리고 계자 전류 I_f[A]에 비례하여 계자의 자기력선속 Φ[Wb]가 증가되므로 유도 기전력은 증가하게 된다.

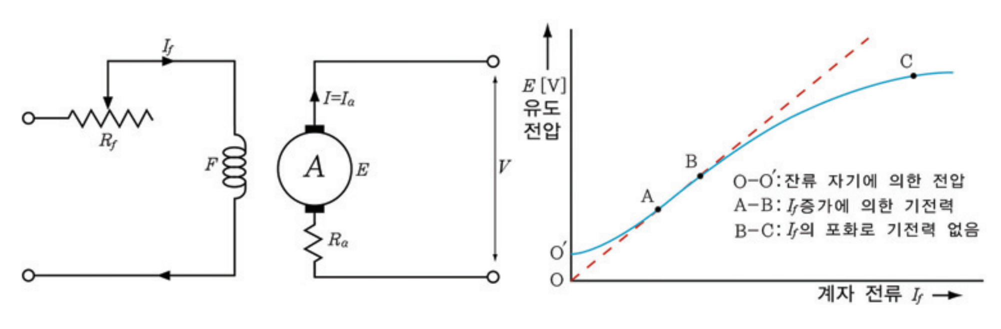


그림 I-19 무부하 상태의 타여자 발전기 접속도

그림 I-20 타여자 발전기의 무부하 특성 곡선

(2) 외부 특성

발전기의 회전 속도를 정격 속도로 유지하고 계자 전류 I_f를 일정하게 유지한 상태에서 부하 전류 I[A]를 증가시켰을 때, 단자 전압 V[V]와의 관계를 외부 특성이라고 한다.

단자 전압 V는 그림 I－21과 같이 부하 전류 I가 증가함에 따라 감소하게 된다. 이것은 전기자 권선의 저항 R_a에 의한 전압 강하인 IR_a와 전기자 반작용에 의한 전압 강하 e_a, 그리고 브러시에 의한 전압 강하 e_b 등이 있기 때문이다. 전압 강하를 고려하면 단자 전압 V는 $V=E-(IR_a+e_a+e_b)$로 나타낼 수 있다.

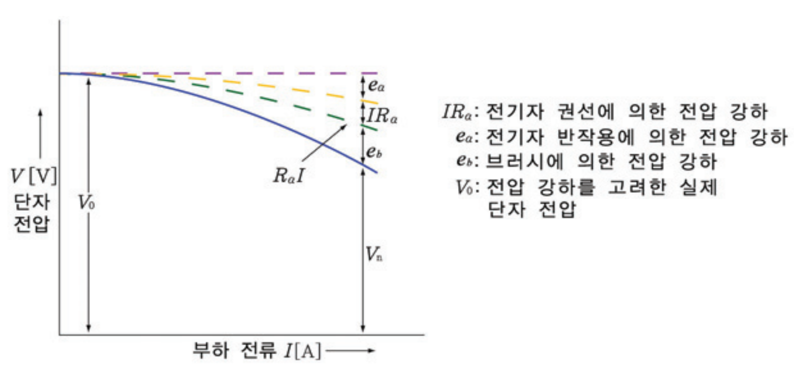


그림 I－21 타여자 발전기의 외부 특성 곡선

(3) 용도

타여자 발전기는 계자 전류를 일정하게 유지하면 부하에 의한 전압의 변화가 적기 때문에 단자 전압이 광범위하면서 안정되게 변화시킬 필요가 있을 때에 사용하고 있다. 주로 전기 화학 공업의 저전압 대전류용 전원, 실험실용 전원, 대형 직류기와 교류 발전기의 여자 등에 사용한다.

2. 자여자 발전기의 특성

(1) 직권 발전기

1) 외부 특성

직권 발전기는 그림 I－22의 (a)와 같이 부하 전류 I, 계자 전류 I_f, 전기자 전류 I_a가 같기 때문에 무부하일 때에는 계자 전류 $I_f=0$이 되어 발전을 할 수 없다. 따라서 무부하 특성 곡선은 존재하지 않는다. 그러므로 계자 권선을 분리시켜 타여자 발전기의 상태에서 부하 특성 곡선을 구한다.

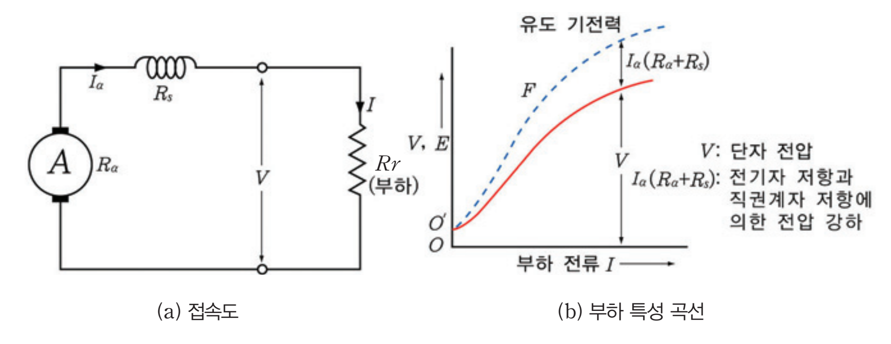


그림 Ⅰ-22 직권 발전기의 외부 특성 곡선

그림 Ⅰ-22의 (a)와 같이 부하 R_r를 접속하면 전기자 회로에 전류가 흐르게 되어 기전력이 발생한다. 동시에 부하 전류 I〔A〕와 유도 기전력 E〔V〕가 증가하여 단자 전압 V〔V〕도 상승하게 된다.

전기자 저항을 R_a〔Ω〕, 직권 계자 저항을 R_s〔Ω〕라고 할 때에 단자 전압 V〔V〕는 다음과 같다.

$$V = E - I(R_a + R_s)\text{〔V〕} \qquad (\text{Ⅰ}-5)$$

2) 용도

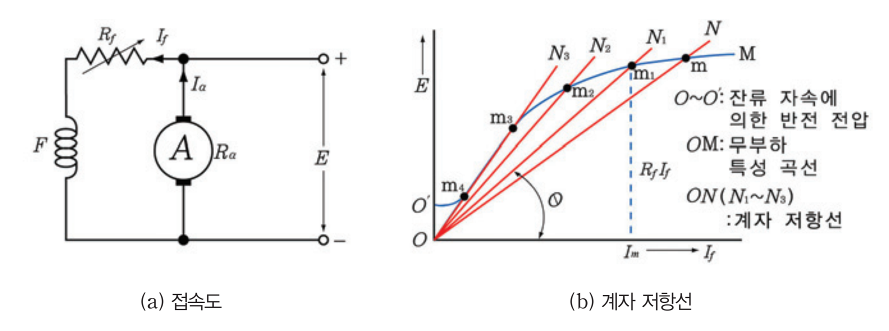
직권 발전기는 부하에 의해 단자 전압이 크게 변동하므로 보통의 직류 전원으로 사용하지 않는다. 그러나 부하 전류에 비례하여 전압이 상승하는 특성을 이용하여 선로의 전압 강하를 보상하기 위한 승압기(booster)로서 사용할 수 있다.

(2) 분권 발전기

1) 무부하 특성

분권 발전기가 자기 여자를 이용하여 발전을 할 수 있는 것은 계자에 남아 있는 잔류 자속 때문이다. 잔류 자속에 의한 발전 전압의 크기는 그림 Ⅰ-23의 (b)에서 OO′에 해당하는 것으로 정격 전압의 5% 정도이다.

이 전압에 의하여 계자 전류 I_f〔A〕가 흘러서 계자가 여자된다. 계자 전류 I_f〔A〕가 잔류 자기력선속을 증가시키는 방향으로 흐르면 발전기에서 발전되는 유도 기전력도 증가하며, 이로 인하여 계자 전류 I_f〔A〕도 더욱 증가하여 그림 Ⅰ-23의 (b)의 O′M과 같은 상태가 된다. 이와 같은 현상을 전압의 확립이라고 하며, 이 곡선을 무부하 특성 곡선이라고 한다.



(a) 접속도

(b) 계자 저항선

그림 Ⅰ−23 분권 발전기의 무부하 특성 곡선

계자 코일의 전압 강하 V_f는 $V_f=R_fI_f$로 표현할 수 있는데, 계자 저항 R_f[Ω]을 일정하게 하면 계자 전압 V_f는 그림 Ⅰ−23 (b)의 직선 ON_1과 같이 계자 전류 I_f에 비례하는 직선의 형태로 나타낼 수 있다. 이 직선을 계자 저항선이라고 하며, 이 직선의 가로축과 세로축이 이르는 각도를 θ라고 하면 $\tan\theta$는 계자 저항 R_f[Ω]로 표시할 수 있다.

$$\tan\theta=\frac{V_f}{I_f}=\frac{R_fI_f}{I_f}=R_f[\Omega] \qquad (Ⅰ-6)$$

전기자 회로의 전압 강하를 무시할 때, 계자 회로에서의 전압 강하는 전기자의 기전력과 같으므로 무부하 곡선 O′M과 직선 ON과 만나는 점 m의 기전력 E_0[V]과 같다. 계자 저항 R_f를 증가시키면 그림 Ⅰ −23 (b)의 m_1, m_2로 이동하여 기전력이 점점 감소하게 되며, 계자 저항 R_f를 감소시키면 단자 전압이 m으로 상승하게 된다.

계자 저항을 더욱 증가시키게 되면 계자 저항선 ON($N_1 \cdots N_3$)은 무부하 특성 곡선인 OM과 겹치게 된다. 이때의 교점 m_3, m_4는 명확한 상태가 아니기 때문에 전압이 불안정하며, 계자 저항 R_f가 조금만 변화하여도 단자 전압이 심하게 변하게 된다. 이러한 상태의 저항을 임계 저항이라고 하며, 임계 저항보다 계자 저항 R_f을 크게 하면 단자 전압은 아주 작게 되어 자여자 발전이 이루어지지 않는다.

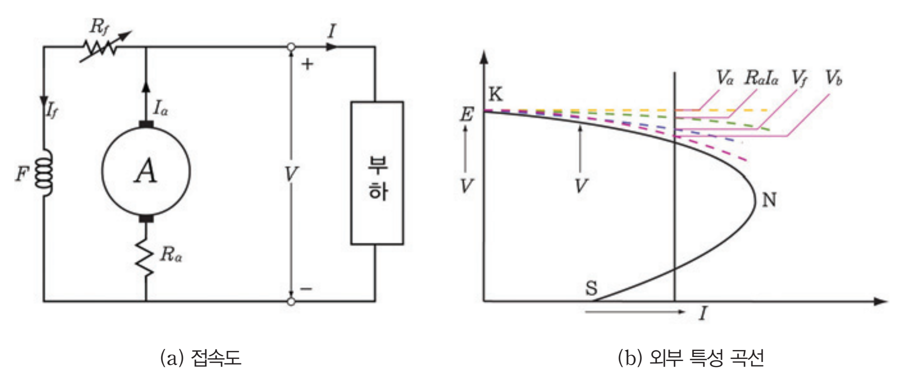
2) 외부 특성

분권 발전기에 부하를 연결하였을 때에 부하 전류를 I[A], 계자 전류를 I_f[A], 전기자 전류를 I_a[A], 유도 기전력을 E[V], 단자 전압을 V[V]라고 할 때, 이들의 관계는 다음과 같다.

$$I_a=I+I_f[A] \qquad (Ⅰ-7)$$

$$E=V+I_aR_a[V] \qquad (Ⅰ-8)$$

$$V=E-I_aR_a[V] \qquad (Ⅰ-9)$$



(a) 접속도 (b) 외부 특성 곡선

그림 Ⅰ－24 분권 발전기의 외부 특성

그림 Ⅰ－24의 (a)와 같이 부하를 연결한 후에 부하를 증가시키면 단자 전압은 그림 Ⅰ－24의 (b)의 곡선 KN 구간과 같이 점차 감소하게 된다. 부하의 크기를 점점 증가시켜 과부하가 되면 전압 강하는 급히 증가하게 되고, 부하 전류는 오히려 감소하여 점 S에 도달한다.

3) 용도

분권 발전기는 타여자 발전기와 같이 다른 여자 전원이 필요 없기 때문에 간편하며, 계자 조정기에 의하여 어떤 범위 내의 전압 조정도 가능하므로 일반 직류 전원으로서 사용된다. 또, 부하에 의한 전압 변동이 큰 특성을 이용하여 축전지의 충전용으로 사용하고 있다.

3. 복권 발전기

복권 발전기의 회로는 그림 Ⅰ－25와 같다. 복권 발전기는 직권과 분권의 계자 권선을 가지고 있기 때문에 무부하 특성은 고려하지 않고 외부 특성만 살펴보면 된다.

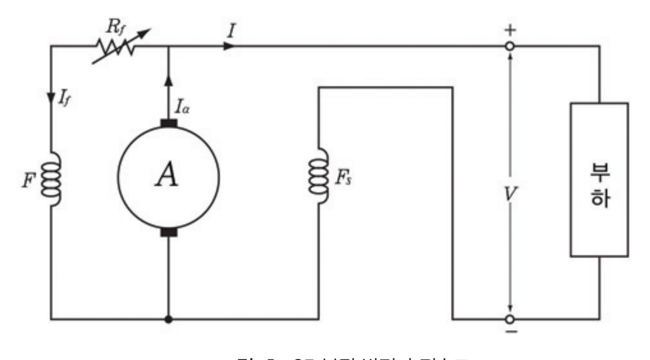


그림 Ⅰ－25 복권 발전기 접속도

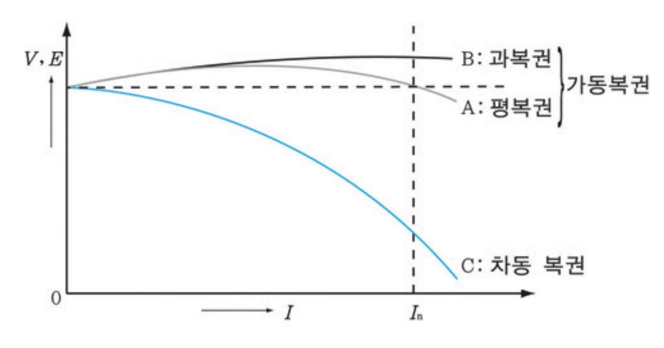


그림 Ⅰ-26 복권 발전기의 외부 특성 곡선

(1) 가동 복권 발전기의 외부 특성

가동 복권 발전기는 전기자와 직렬로 접속되어 있는 직권 계자와 분권 계자의 기자력이 합쳐져서 유도 기전력을 증가시키고 동시에 전기자 반작용에 의한 자기력선속의 감소와 전기자 저항에 의한 전압 강하를 보충하고 있다.

그림 Ⅰ-26의 곡선 A, B와 같이 가동 복권 발전기에서는 단자 전압을 부하의 증감에 관계없이 거의 일정하게 유지할 수 있다. 특히, 무부하 전압과 전부하 전압이 같게 되도록 한 것을 평복권 발전기라고 하며, 직권 계자의 기자력을 강하게 하면 무부하 전압보다 전부하 전압이 높게 나타난다. 이것을 과복권이라고 한다.

(2) 차동 복권 발전기의 외부 특성

차동 복권 발전기는 직권 계자의 기자력이 분권 계자의 기자력을 감소시키기 때문에 그림 Ⅰ-26의 곡선 C와 같은 곡선처럼 부하 전류의 증가에 따라 내부 전압 강하도 증가하여 출력측 단자 전압이 급격히 강하하게 되는 수하 특성이 나타난다. 수하 특성이 나타난 상태에서 부하 저항을 어느 정도 감소시켜도 전류는 일정하게 된다.

(3) 용도

평복권 발전기는 부하의 변화에 관계없이 전압이 일정하므로 일반 직류 전원과 전기 기기의 여자 전원으로 사용된다. 과복권 발전기는 전압 강하를 보완할 목적으로 광산, 전동차 등의 전원으로 사용된다. 차동 복권 발전기는 수하 특성을 이용하여 아크를 이용하는 전기 용접기 등의 전원으로 사용하고 있다.

참고자료

수하 특성(drooping characteristic)

수하 특성이란 두 양 사이의 관계를 나타내는 특성 곡선에서 가로축의 양이 증가하면 세로축의 양이 감소하는 성질로서 전기적 특성을 나타낼 때에 많이 사용한다.



직류 발전기(직권 발전기)의 부하 특성 시험

<도면>

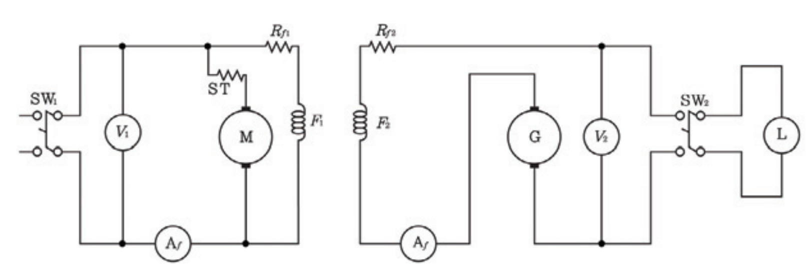


그림 Ⅰ-27 직권 발전기의 부하 특성 시험 회로

사용 재료와 기기

직류 발전기 1대, 직류 전동기 1대, 직류 전압계(0~150[V]) 2대, 직류 전류계(0~5[A]) 1대, 직류 전류계(0~30[A]) 2대, 회전계(0~4,000 rpm) 1대, 계자 저항기 2개, 스위치(2P) 2개

안전과 유의 사항

1. 직권 발전기는 반드시 부하를 연결한 상태에서 운전하여야 한다.
2. 직권 발전기는 전압이 발생하고 있을 때에 부하 측의 스위치 SW_2를 열면 계자 권선의 자기 유도 현상에 의한 이상 전압이 발생하여 절연물이 파손될 염려가 있으므로, 절대로 스위치 SW_2를 열지 않는다.

실습 순서

1. 그림 Ⅰ-27과 같이 결선하고 전동기를 운전하여 발전기를 정격 회전수로 회전시킨 다음, 발전에 연결된 전압계 V_2의 지시값을 읽는다.
2. 스위치 SW_2를 닫고 부하 L을 조정하여 정격 속도에서 부하 전류 I를 증가시키면서 전류와 전압의 변화 값을 기록한다.
3. 모눈종이의 가로축은 부하 전류 I, 세로축은 단자 전압 V로 정하여, 측정 결과를 그래프로 그린다.

결과 정리

단자 전압 V[V]	부하 전류 I[A]	유도 기전력 E[V]

실습 과제 3

직류 발전기(분권 발전기)의 부하 특성 시험

<도면>

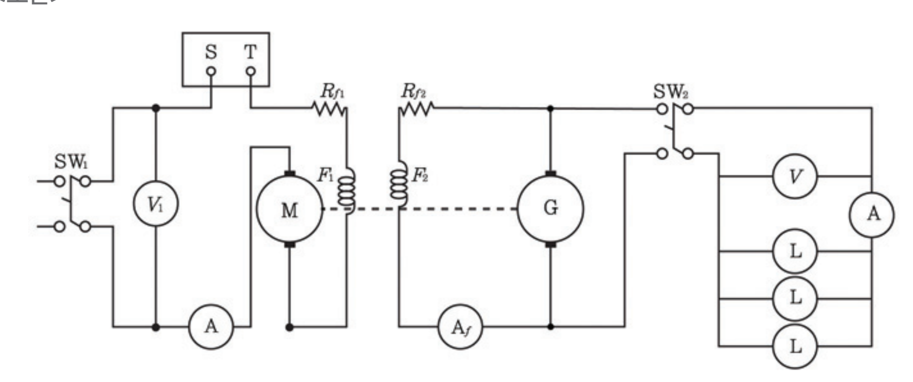


그림 Ⅰ-28 분권 발전기의 부하 특성 시험 회로

사용 재료와 기기

직류 발전기 1대, 직류 전동기 1대, 직류 전압계(0~150[V]) 2대, 직류 전류계(0~5[A]) 1대, 직류 전류계(0~30[A]) 2대, 회전계(0~4,000 rpm) 1대, 계자 저항기 2개, 스위치(2P) 2개

안전과 유의 사항

1. 복권 발전기의 회전수는 항상 일정하게 유지하여야 한다.
2. 측정 도중 전류계의 단자를 바꿀 때에는 여자 전류가 끊어지지 않게 하여야 한다.
3. 직권 계자의 기자력을 조정하려면, 직권 계자와 병렬로 분류 저항을 연결하면 된다.

실습 순서

1. 그림 Ⅰ-28과 같이 접속하고 계자 저항기 R_{f_1}은 최소, R_{f_2}는 최대 위치에 놓고 전동기를 기동한다.
2. R_{f_2}를 조정하여 발전기가 정격 속도일 때에 정격 전압을 유지하도록 한 뒤에 R_{f_2}의 값은 일정하게 유지한다.
3. 무부하 상태부터 단계적으로 부하의 크기를 증가하면서 각 계기의 지시값을 기록한다.

결과 정리

단자 전압 V[V]	부하 전류 I[A]	계자 전류 I_f[V]	전기자 전류 $I_a=I+I_f$[V]	유도 기전력 E[V]



직류 발전기의 병렬 운전

학습 목표 |

1. 발전기의 병렬 운전 개념과 운전 조건을 이해하고 설명할 수 있다.
2. 직류 발전기의 병렬 운전 방법을 설명할 수 있다.

1 병렬 운전

한 대의 발전기로 부하에 공급하는 전력 용량이 부족하거나, 발전기가 가지고 있는 용량 이상으로 부하가 걸릴 때에는 또 다른 발전기를 동일한 모선에 병렬로 접속하여 공통의 부하에 전력을 공급할 수 있는데, 이러한 방법을 병렬 운전(parallel running)이라고 한다.

이렇게 하면 부하에 안정된 전기 에너지를 공급할 수 있으며, 동시에 발전기에 걸리는 과부하를 분산하는 효과가 있어 발전기의 고장이나 사고를 예방할 수 있다. 발전기의 병렬 운전을 위한 방법은 그림 Ⅰ-29와 같다.

직류 발전기를 병렬 운전하는 목적은 다음과 같다.

첫째, 한 대의 발전기로 부하에 공급하는 전력량이 부족할 때에 사용한다.

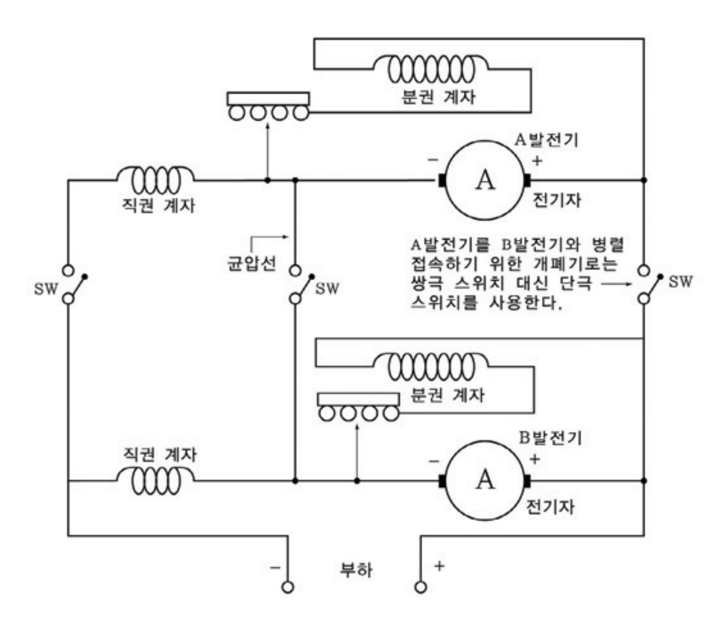


그림 Ⅰ-29 발전기의 병렬 운전

둘째, 부하 변동의 폭이 큰 조건에서 발전기를 운전할 때, 부하가 작은 경부하에서는 한 대의 발전기로, 부하가 많은 전부하에서는 두 대의 발전기로 운전한다.

셋째, 예비용 발전기로서 사용하거나 점검과 고장 수리에 사용할 수 있다.

2 병렬 운전 조건

발전기를 병렬 운전하기 위하여는 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.

첫째, 발전기의 전압 크기를 일치시켜야 한다. 전압의 크기를 조정하는 방법은 계자 조정기를 통하여 할 수 있으며 전압의 크기는 전압계로 측정한다.

둘째, 발전기의 극성을 구분하여 같은 극성끼리 연결하여 준다.

셋째, 두 대의 발전기 직권 계자를 병렬로 접속하는 균압선을 설치한다.

균압선을 설치하는 목적은 그림 I-30과 같이 두 대의 발전기 A와 B가 있을 때, 발전기가 균등하게 부하를 분담할 수 있게 하기 위함이다. 균압선이 없으면 A발전기가 B발전기보다 빠른 속도로 운전하게 될 때에 A발전기의 출력은 B발전기보다 많아진다. 따라서, A발전기는 B발전기보다 많은 부하를 분담하게 되며, B발전기는 발전기가 아닌 전동기로서 동작하게 되어 A발전기에 더 많은 부담을 주게 되어 병렬 운전의 목적을 상실하게 된다.

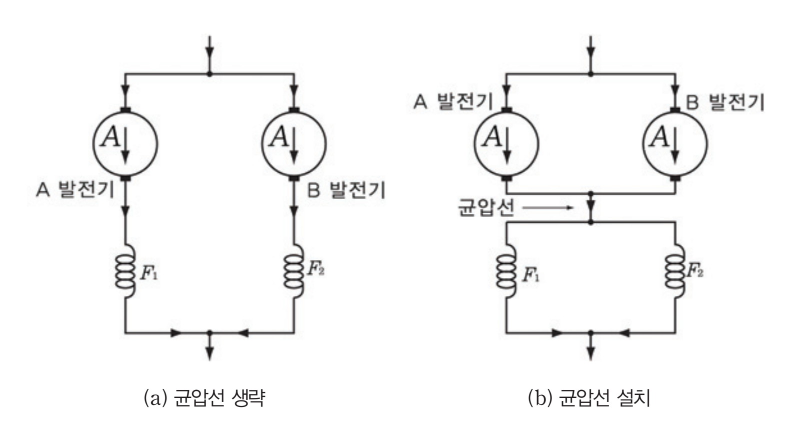


그림 I-30 균압선 생략 회로와 설치 회로

3 직권 발전기의 병렬 운전

직권 발전기는 전류가 증가하면 전압도 증가하는 외부 특성이 있기 때문에 그림 I-31의 (a)와 같이 균압선을 이용하여 두 발전기의 계자 권선을 연결하여 운전하거나

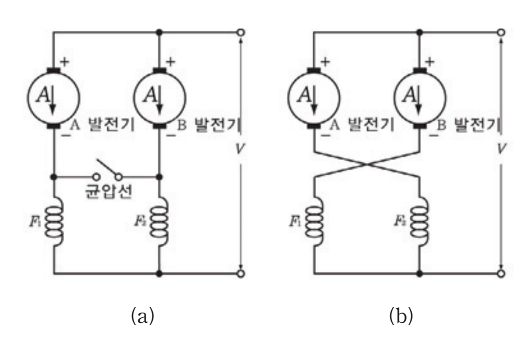


그림 Ⅰ-31 직권 발전기의 병렬 운전 연결

또는 그림 Ⅰ-31의 (b)와 같이 계자 권선을 서로 교차 접속한 뒤에 운전한다.

4 분권 발전기의 병렬 운전

분권 발전기를 병렬 운전하기 위하여는 그림 Ⅰ-32와 같이 연결한다.

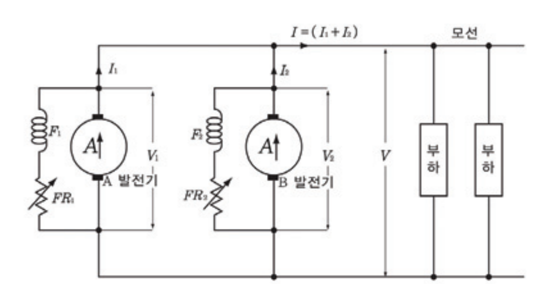


그림 Ⅰ-32 분권 발전기의 병렬 운전

병렬 운전을 하기 위한 조건은 다음과 같다.

첫째, 두 발전기의 단자 전압과 모선 전압이 같아야 한다.

둘째, 두 발전기의 부하 전류와 모선 전류가 같아야 한다.

5 복권 발전기의 병렬 운전

차동 복권 발전기는 외부 특성이 분권 발전기와 동일하므로 그대로 병렬 운전을 할 수 있다. 가동 복권 발전기는 그림 Ⅰ-33과 같이 균압선을 설치하지 않으면 병렬 운전을 할 수 없다.

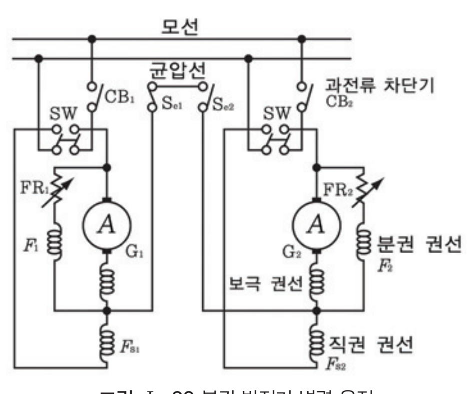


그림 Ⅰ-33 복권 발전기 병렬 운전



직류 전동기의 종류와 특성

학습 목표 |

1. 직류 전동기의 분류 기준을 이해하고 종류를 설명할 수 있다.
2. 직류 전동기의 유도 기전력과 속도와 토크에 대한 개념을 이해하고 설명할 수 있다.
3. 교직 양용 전동기의 개념과 특징을 이해하고 설명할 수 있다.

1 직류 전동기의 종류

직류 전동기는 직류 발전기와 구조가 같기 때문에 직류 전동기의 종류도 직류 발전기와 같이 계자 권선과 전기자 권선의 접속 방법에 따라 분류할 수 있다.

1. 타여자 전동기

타여자(separately excited) 전동기는 그림 Ⅰ-34의 (a)와 같이 계자 권선과 전기자 권선이 각각 다른 전원에 접속되어 있는 구조를 가지고 있다. 계자에 공급되는 전류가 일정하기 때문에 자속이 일정하며 정속도의 특성을 가지고 있다. 속도를 제어하기 위하여는 전기자에 공급되는 전압의 세기를 변경시키는 방법을 사용하고 있다.

2. 자여자 전동기

자여자(self excited) 전동기는 계자 권선과 전기자 권선에 공급되는 전원이 동일한 전원을 사용하며, 계자 권선과 전기자 권선의 연결 방법에 따라 직권 전동기, 분권 전동기, 복권 전동기 등으로 분류할 수 있다.

(1) 직권 전동기

직권(series) 전동기는 그림 Ⅰ-34의 (b)와 같이 계자 권선과 전기자 권선이 전원에 대하여 직렬로 연결된 구조를 가지고 있다.

(2) 분권 전동기

분권(shunt) 전동기는 계자 권선과 전기자 권선이 그림 Ⅰ-34의 (c)와 같이 전원에 대하여 병렬로 연결된 구조를 가지고 있다.

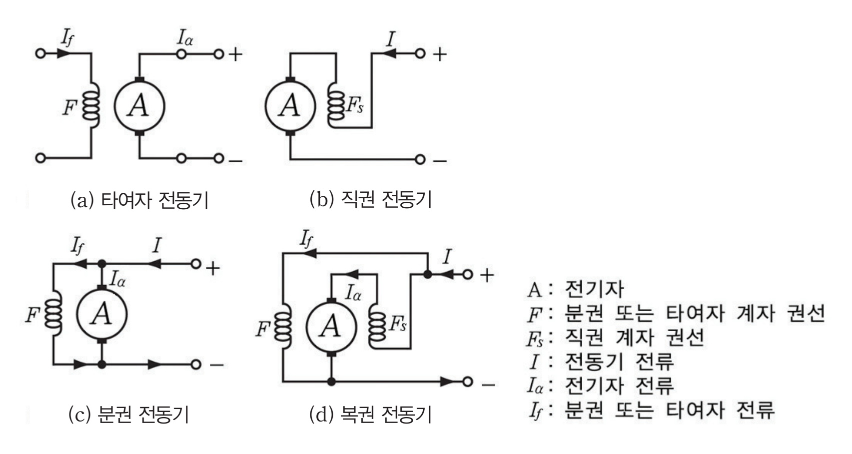


그림 Ⅰ-34 직류 전동기의 종류별 접속도

(3) 복권 전동기

복권(compound) 전동기는 계자 권선과 전기자 권선이 그림 Ⅰ-34의 (d)와 같이 전원에 대하여 직렬과 병렬로 연결된 구조, 즉 직권 전동기와 분권 전동기가 결합된 구조를 가지고 있다.

2 직류 전동기의 특성

직류 전동기는 산업용 기기, 가전 기기 등의 동력원으로 사용하고 있다. 전동기를 용도에 알맞게 사용하기 위하여는 일정 한도 이상의 회전력이 있어야 하며, 자유로운 속도 조절이 가능하여야 한다. 직류 전동기의 특성은 역기전력 발생, 전동기의 회전 속도, 회전축을 중심으로 회전시키는 능력인 토크, 회전 속도와 토크의 관계 그리고 전동기의 용도를 들 수 있다.

1. 직류 전동기의 역기전력

직류 전동기와 직류 발전기는 구조가 같기 때문에 직류 전동기가 회전할 때에는 그림 Ⅰ-35의 (a)와 같이 전기자가 회전하면서 계자의 자기력선속을 끊게 된다. 이것은 전동기가 회전하면서 동시에 발전을 하고 있다는 것을 의미한다. 이렇게 전동기가 회전하고 있을 때에 발전되는 기전력을 역기전력이라고 한다. 전동기에서 발생되는 역기전력은 E로 표시한다.

역기전력 E는 그림 Ⅰ-35의 (b)와 같이 전동기에 입력된 전압, 즉 단자 전압 V와는 반대 방향이며, 전기자에 흐르는 전류 I_a를 방해하는 방향으로 발생한다.

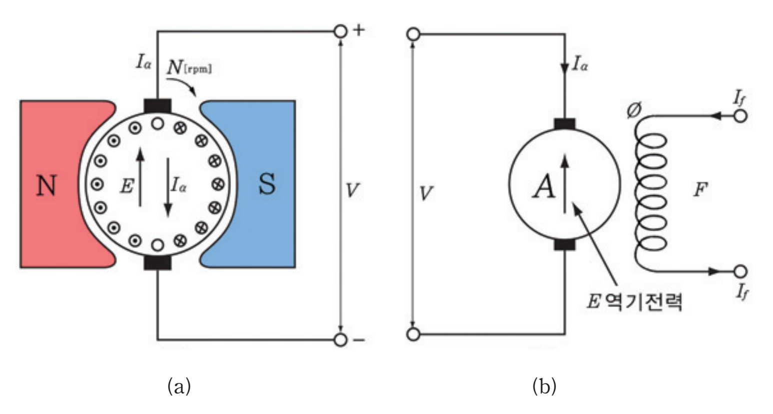


그림 Ⅰ-35 직류 전동기의 역기전력

전동기의 자극 수를 p〔개〕, 극당 자기력선속 수를 Φ〔Wb〕, 전기자의 병렬 회로 수를 a〔개〕, 도체 수를 Z〔개〕, 회전수를 N〔rpm〕, 비례 상수를 K_1이라고 할 때에 직류 전동기 내부에서 발생되는 역기전력 E는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E=\frac{p}{a}Z\Phi\frac{N}{60}=K_1\Phi N\text{〔V〕}\left(K_1=\frac{pZ}{60a}\right) \quad (\text{Ⅰ}-10)$$

실제로 발생되는 역기전력 E는 그림 Ⅰ-36과 같이 외부에서 공급되는 단자 전압 V에서 전기자 코일에 의한 전압 강하 I_aR_a〔V〕와 브러시 저항에 의한 전압 강하 e_b〔V〕를 제외한 부분이다.

$$E=V-I_aR_a-e_b\text{〔V〕} \quad (\text{Ⅰ}-11)$$

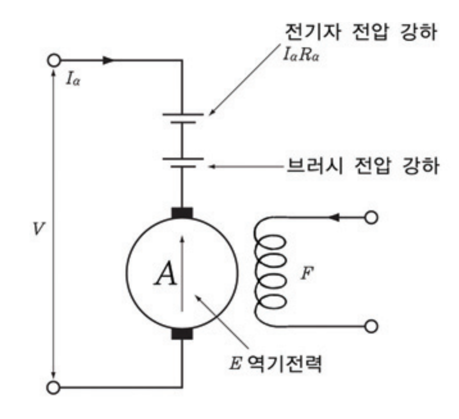


그림 Ⅰ-36 실제 역기전력 발생

2. 직류 전동기의 회전 속도

직류 전동기의 회전 속도는 역기전력을 구하는 식 $E=\frac{p}{a}Z\Phi\frac{N}{60}=K_1\Phi N$과 $E=V-I_aR_a-e_b$을 이용하여 회전수 N을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N=K\frac{E}{\Phi}=K\frac{V-I_aR_a}{\Phi}\text{[rpm]}\ (K\text{는 비례 상수}) \qquad (\text{I}-12)$$

전기자 권선에 의한 전압 강하를 무시하면 $N\propto\frac{V}{\Phi}$이다. 즉, 전동기의 속도 N은 단자 전압 V에 비례하고 자기력선속 Φ에 반비례한다.

3. 직류 전동기의 토크

전동기에서의 토크는 전동기를 회전시키기 위하여 필요한 회전 능력, 즉 전동기를 회전시키기 위하여 필요한 힘을 뜻하는 것이다. 그림 I－37과 같이 자기장 속에 놓여 있는 전동기의 전기자에 전압을 가하면 전기자 회로에 전류가 흐르며, 전기자를 회전시키려는 힘인 토크 $T(N\cdot m)$가 발생한다. 이때, 발생되는 토크 T는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$T=K_T\Phi I_a[N\cdot m]\left(K_T=\frac{pZ}{2a\pi}\right) \qquad (\text{I}-13)$$

토크는 전기자 전류 I_a에 비례하고 1극당의 자속에 비례한다.

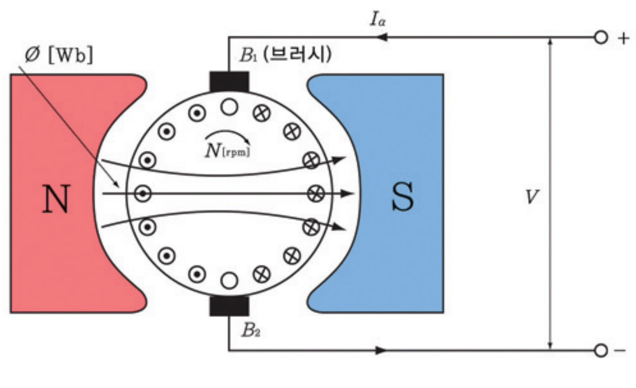


그림 I－37 직류 전동기의 토크

3 교직 양용 전동기

1. 교직 양용 전동기 개요

교직 양용 전동기는 교류와 직류 전원을 모두 이용할 수 있는 전동기로 만능(Universal) 전동기 또는 단상 직권 정류자 전동기라고 한다.

구조는 직류 직권 전동기와 같고, 계자 코일과 전기자 코일에 같은 전류가 흘러 회전력을 얻는다. 또, 교류와 직류에서도 토크의 발생 방향이 언제나 일정하기 때문에 회전 방향을 일정하게 유지할 수 있다. 교직 양용 전동기는 입력 단자에 공급하는 전압의 극성이 바뀌어도 회전 방향은 변하지 않는다. 교직 양용 전동기의 특징은 다음과 같다.

첫째, 교류와 직류 전원을 모두 사용할 수 있다.

둘째, 기동 토크가 크다.

셋째, 회전수는 전압에 비례한다.

넷째, 무부하 회전수가 높다.

2. 계자 권선과 전기자 권선의 접속

교직 양용 전동기의 계자 권선은 직류기처럼 N극과 S극이 교대로 구성될 수 있게 직렬로 접속하면 된다. 계자의 극성을 구분하는 방법은 나침반을 이용하면 된다. 계자 권선과 전기자 권선의 접속은 그림 I－38의 (a) 또는 (b)와 같이 전기자 권선과 계자 권선을 직렬로 접속하면 된다.

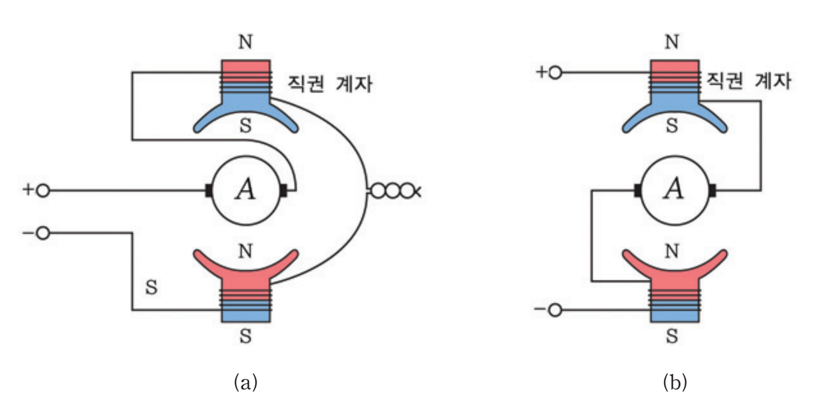
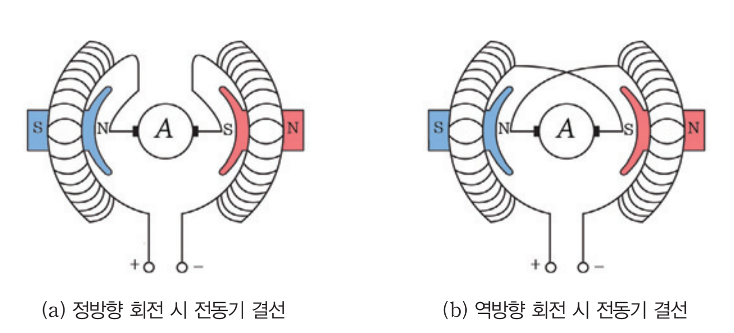


그림 I－38 교직 양용 전동기의 권선 접속

3. 회전 방향의 변경

교직 양용 전동기의 회전 방향을 변경시키려면 전기자 권선 또는 계자 권선에 대한 전류의 방향을 바꾸어 주면 된다. 그림 I－39의 (a)와 같이 결선하였을 때에 정방향(시계 방향)으로 회전하였다면 그림 I－39의 (b)와 같이 결선하면 역방향(시계 반대 방향)으로 회전하게 된다.



(a) 정방향 회전 시 전동기 결선　　(b) 역방향 회전 시 전동기 결선

그림 I－39 교직 양용 전동기의 회전 방향 변경 방법

4. 속도 제어

교직 양용 전동기의 속도를 제어하는 방법에는 소형의 가변 저항을 직권 계자에 직렬로 삽입하여 계자에 흐르는 전류의 세기를 조절하는 직렬 저항 삽입법과 전동기가 회전할 때에 발생하는 원심력을 이용하는 원심력 스위치 방법이 있다.

5. 용도

교직 양용 전동기는 직류 직권 전동기와 같이 토크–속도 특성이 급격히 하강하기 때문에 일정한 속도를 요구하는 분야에는 적합하지 않다. 그러나 교류 단상 전동기에 비해 크기가 작고, 단위 전류 당 토크가 크기 때문에 가정이나 산업 현장에서 높은 회전 수와 강한 토크가 필요한 곳에서 사용한다. 대표적인 용도는 진공 청소기, 휴대용 공구(전동 드릴, 전기톱, 전기 대패 등), 믹서 등이 있다.



소형 전동기의 종류와 용도

분류	종류	사용 분야	사용 기기
DC 전동기	Micro DC 전동기	오디오 기기 비디오 기기	카세트, 시디플레이어, 비디오 플레이어, 프린터 등
	Coreless 전동기	정밀 기기	시계, 카메라 등
	BLDC 전동기	가정 기기	헤어드라이어, 면도기, 전동 칫솔, 공기 정화기 등
	Fan 전동기	사무 기기	프린터, 플로피 디스크, 하드 디스크 등
스테핑 전동기		산업 기기	소형 로봇, 소형 공작 기계, 조립 자동차 기기 등
		사무 기기	플로피 디스크, 하드 디스크, 프린터, 복사기, 팩시밀리 등
		계측기	기록계 등
AC 전동기	AC 서보 전동기	산업 기기	소형 로봇, 소형 공작 기계, 자동화 전용 기기 등
	동기 전동기	계측 기기	계측기용 팬 모터 등
	Fan 전동기	가정 기기	냉장고, 에어컨 등
	유도 전동기		

5 직류 전동기의 부하 특성

학습 목표 |

1. 직류 전동기의 부하 특성 개념을 이해하고 설명할 수 있다.
2. 부하 연결 상태에서 직류 전동기의 속도와 토크 특성을 이해하고 설명할 수 있다.
3. 직류 전동기의 종류에 따른 용도를 이해하고 설명할 수 있다.

1 직권 전동기의 특성

1. 속도 특성

직권 전동기의 전원 전압을 V[V], 전기자 전류를 I_a[A], 전기자 저항을 R_a[Ω], 계자의 자기력선속을 Φ[Wb]라 할 때에 회전 속도 N은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N = K_1 \frac{V - I_a R_a}{\Phi} \text{[rpm]} \qquad (\text{I}-14)$$

직권 전동기는 그림 Ⅰ-40의 (a)와 같이 계자 권선과 전기자 권선이 직렬로 접속되어 있기 때문에 계자에 흐르는 전류 I_f와 전기자에 흐르는 전류 I_a 그리고 부하에 흐르는 전류 I는 모두 같은 전류이다.

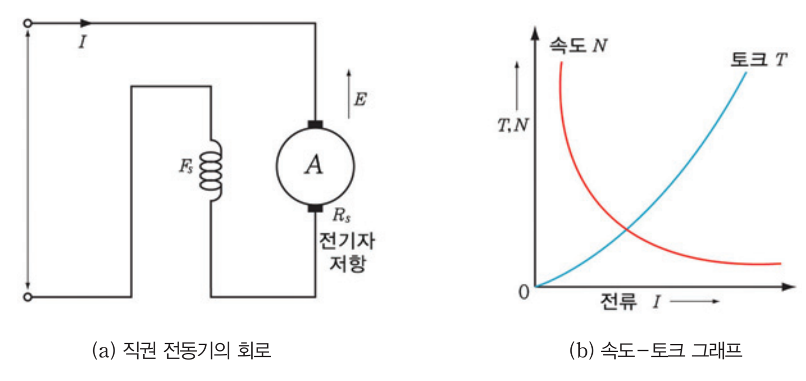
계자에서 발생되는 자기력선속 Φ[Wb]는 부하에 흐르는 전류인 I에 비례하기 때문에 전기자에 흐르는 전류 I_a를 이용하여 회전 속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N = K_2 \frac{V - I_a R_a}{I_a} \text{[rpm]} \qquad (\text{I}-15)$$

전기자에서 전기자 반작용에 의하여 발생되는 역기전력 E는 $E = I_a R_a$이다. 역기전력 E는 전동기에 입력되는 단자 전압 V에 비하여 매우 적으므로 무시하면 전동기의 속도 N은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$N = \frac{KV}{I_a} \text{[rpm]} \qquad (\text{I}-16)$$

전기자 전류 I_a와 부하 전류 I가 같기 때문에 직권 전동기의 속도는 부하 전류의 크기에 따라 변하게 된다. 그림 Ⅰ-40의 (b)와 같이 부하 전류가 증가하면 속도는 감소하고 부하 전류가 감소하면 속도는 증가하게 된다. 무부하 상태에서 전동기를 작동시키면 부하 전류가 최소 상태이기 때문에 회전 속도는 급하게 증가하게 되어 매우 위험한 상태가 된다. 직권 전동기는 무부하 운전이나 벨트 운전을 하면 안 된다.



(a) 직권 전동기의 회로

(b) 속도-토크 그래프

그림 I-40 직권 전동기의 속도와 토크 특성

2. 토크 특성

전동기에서의 토크는 전동기를 회전시키기 위하여 필요한 회전 능력, 즉 전동기를 회전시키기 위하여 필요한 힘이다. 직권 전동기의 토크 T는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = K\Phi I\,[\mathrm{N \cdot m}] \qquad (\mathrm{I}-17)$$

계자에서 발생되는 자기력선속은 부하 전류 I에 비례하기 때문에 토크는 $T = K\Phi I_a = KI_a \cdot I_a = KI_a^2$(부하 전류 I와 전기자에 흐르는 전류 I_a가 같다.)로 표현할 수 있다. 즉, 직권 전동기의 토크 크기는 그림 I-40의 (b)와 같이 전동기에 흐르는 부하 전류 I의 제곱에 비례하여 결정된다.

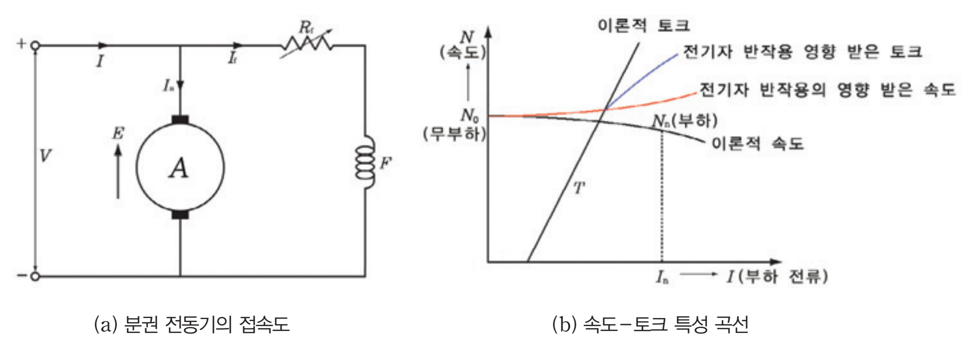
3. 용도

직권 전동기는 속도를 조절할 수 있는 전동기로서 기동 토크가 크기 때문에 전동차, 권상기, 크레인 등과 같이 기동이 빈번하고 토크의 변동이 심한 부하에 많이 사용한다.

2 분권 전동기의 특성

1. 속도 특성

분권 전동기의 속도 특성은 단자 전압 V[V], 계자 저항 R_f[Ω]을 일정하게 유지한 상태에서 부하 전류 I[A], 회전 속도 N[rpm] 사이의 관계를 나타내는 것이다. 그림 I-41의 (a)와 같은 회로에서 단자 전압 V가 일정하면 계자 전류 I_f도 일정하기 때문에 계자에서 발생되는 자기력선속 Φ도 거의 일정하게 된다. 또, 부하 전류 I는 $I = I_a + I_f \fallingdotseq I_a$의 관계이기 때문에 속도 특성은 그림 I-41의 (b)와 같다.



(a) 분권 전동기의 접속도　　　　(b) 속도-토크 특성 곡선

그림 Ⅰ-41 분권 전동기의 속도와 토크 특성

2. 토크 특성

토크 특성은 부하 전류 I[A]와 토크 T[N·m] 사이의 관계를 나타내는 것으로, 분권 전동기에서 토크 T는 자기력선속 Φ가 일정하기 때문에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = K\Phi \cdot I_a = KI \cdot I_a \qquad (Ⅰ-18)$$

토크 T[N·m]는 전기자 전류 I_a에 비례하지만 부하가 증가하여 전기자 반작용이 증가하면 자기력선속 Φ가 감소하므로, 그림 Ⅰ-41의 (b)와 같이 구부러지는 특성이 있다.

3. 용도

분권 전동기는 부하에 의한 속도 변화가 적고 계자를 조정하여 광범위한 속도 제어가 가능하기 때문에 정속도와 가감 속도 전동기로 사용되며 주로 제철소의 압연기, 권상기, 공작 기계 등에 사용되고 있다.

3 복권 전동기의 특성

복권 전동기는 직권 전동기와 분권 전동기의 중간적 특성을 가지고 있으며, 일반적으로 가동 복권 전동기가 많이 사용된다. 가동 복권 전동기는 기계 토크도 크고 위험한 고속도 되지 않아 크레인, 엘리베이터, 공작 기계 등에 사용된다.

4 직류 전동기의 속도 변동률

직류 전동기를 무부하 상태에서 사용할 때의 속도와 부하를 연결하여 사용할 때의 속도에는 차이가 있다. 전동기의 속도 변동 정도는 속도 변동률 ε[%]로 표현한다. 무부하에서의 회전수를 N_a, 정격 회전수를 N_n이라고 할 때에 속도 변동률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon = \frac{N_a - N_n}{N_n} \times 100[\%] \qquad (Ⅰ-19)$$



직류 전동기의 속도 제어

학습 목표 |

1. 직류 전동기의 기동 방법 종류와 특징에 대하여 설명할 수 있다.
2. 직류 전동기의 속도 제어 방법과 특징에 대하여 설명할 수 있다.

직류 전동기는 속도 제어가 다른 동력원보다 쉽고 편리하며, 전동기의 회전 방향을 쉽게 바꿀 수 있으며 큰 힘을 발생시킬 수 있기 때문에 산업 현장과 생활의 다양한 영역에서 사용하고 있다.

1 직류 전동기의 기동 방법

정지된 상태의 전동기에 전기 에너지를 공급하여 회전력을 발생시키는 과정을 전동기의 기동이라고 한다. 직류 전동기의 운전 중에 전기자에 흐르는 전기자 전류 I_a는 다음과 같이 표시한다.

$$I_a=\frac{V-E}{R_a}=\frac{V-K\Phi N}{R_a}\text{[A]} \qquad (\text{I}-20)$$

직류 전동기의 전기자 저항 R_a는 매우 작기 때문에 기동하는 순간에 전원 전압이 전기자 회로에 가해지면 매우 큰 기동 전류가 흘러서 전기자 권선, 정류자, 브러시 등을 손상시키거나 전원의 전압 강하 등을 발생시킬 수 있다.

이러한 피해를 예방하고 안전하게 기동할 수 있게 하기 위하여 일정한 크기의 저항을 삽입하여 전류의 크기를 제한하고 있다. 이러한 저항을 기동 저항 또는 기동기라고 한다.

1. 기동 저항 이용

전기자 회로에 직렬로 적당한 크기의 저항을 넣어 기동 시 발생하는 기동 전류를 제한하는 방법이다. 기동 저항은 그림 Ⅰ－42와 같이 일정한 단계로 저항의 크기를 쉽게 조절할 수 있게 구분한다.

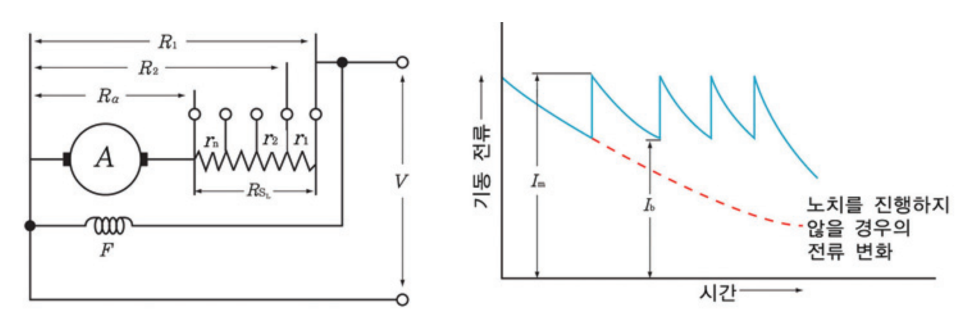


그림 Ⅰ-42 기동 저항과 기동 전류의 크기

처음 기동 시에는 기동 저항 $R_s(r_1+r_2+r_3)$를 모두 사용하여 저항값의 크기를 최대로 하여 기동 전류를 적게 흐르게 한다. 속도가 증가함에 따라 저항값의 크기를 감소시켜 기동을 하게 된다.

2. 기동기 이용

기동기는 기동 저항기와 저항을 전환하는 핸들 등을 조합한 장치로서 수동형과 자동형이 있다. 자동형은 릴레이와 전자 접촉기를 이용하여 작동시킨다.

기동기의 회로는 그림 Ⅰ-43의 (a)와 같고, 기동 저항의 접속 방법은 그림 Ⅰ-43의 (b)와 같이 연결하면 된다.

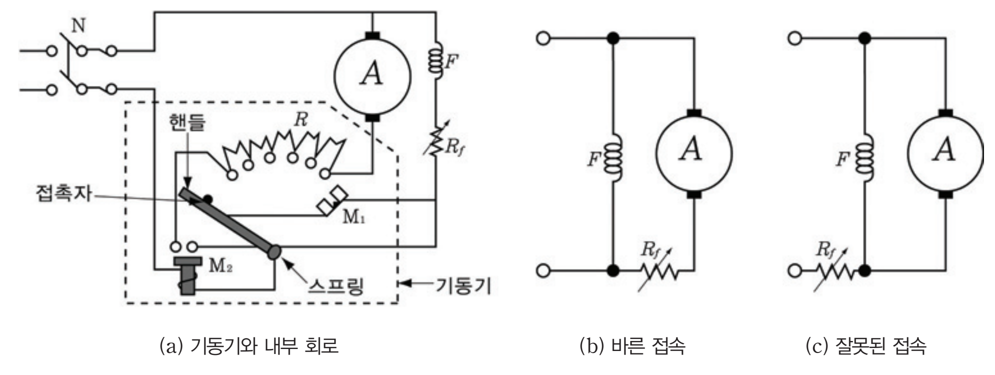


그림 Ⅰ-43 기동기의 회로 구조와 기동 저항의 접속 방법

2 직류 전동기의 속도 제어

전동기에서 발생되는 회전력을 공장, 산업 현장, 가정 등에서 사용하기 위하여는 사용자의 요구에 알맞은 형태로 속도를 변환하여야 한다. 예를 들어, 제강 공장에서 사용하는 압연기를 회전시키는 전동기는 일정한 속도를 유지하여야 하고, 전동차를 움직이는 전동기는 광범위한 속도의 변화가 필요하다.

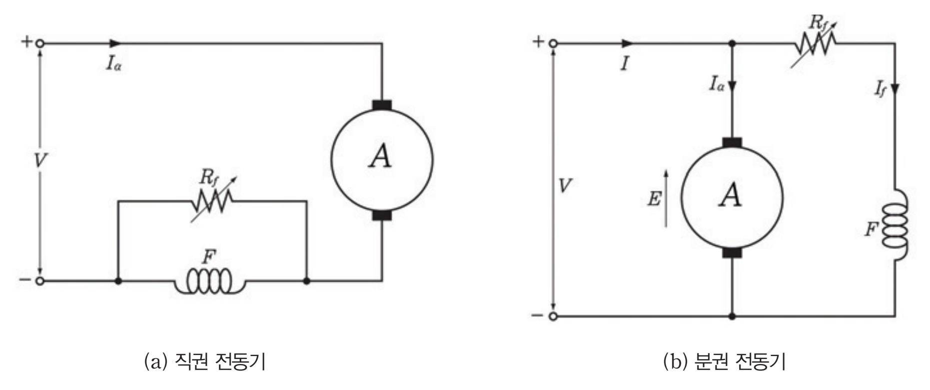
이처럼 필요에 따라 전동기의 속도를 변화시키는 것을 속도 제어(speed control)라고 한다.

전동기의 속도는 $N=K\frac{V-I_aR_a}{\Phi}$ [rpm]로 나타낼 수 있기 때문에 전동기의 속도를 변화시키기 위하여는 계자의 자기력선속 Φ, 입력 전압(단자 전압) V, 전기자 권선의 저항 R_a를 변화시키면 된다. 따라서, 이들 중에서 어느 것을 변화시키느냐에 따라 속도 제어 방법은 계자 제어, 전압 제어, 저항 제어로 구분할 수 있다.

1. 계자 제어

직류 전동기의 계자에서 발생되는 자기력선속 Φ의 세기를 변화시켜 속도를 제어하는 방법이다. 전기자에 공급되는 전원 전압을 일정하게 유지하고, 계자 전류를 조정하여 계자에서 발생되는 자기력선속의 세기를 조정한다. 그림 Ⅰ-44와 같이 계자 권선에 직렬 또는 병렬로 가변 저항기를 접속하여 저항을 증가 또는 감소시켜 계자에 흐르는 전류의 세기를 조정하면 된다.

계자 제어(field control) 방법은 정격 운전 속도에서 정격 속도를 유지하거나 부하의 속도를 높일 때에 많이 사용한다.



(a) 직권 전동기 (b) 분권 전동기

그림 Ⅰ-44 계자 제어를 이용한 속도 제어

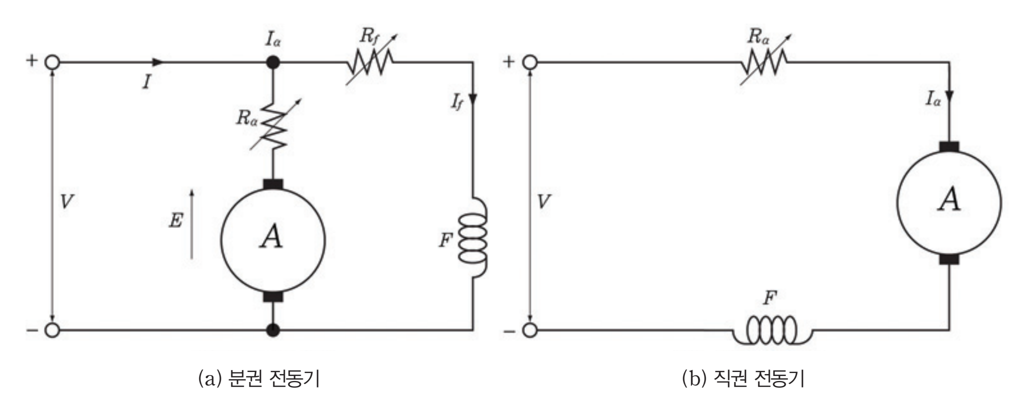
2. 전압 제어

전압 제어(voltage control)는 전기자에 공급하는 전원 전압(입력 전압, 단자 전압) V를 변환시키는 방법으로, 정격 전압에서 정격 속도를 유지하거나 부하의 속도를 감소시킬 때에 사용하는 제어이며 일정한 출력형 속도 제어 방식이다.

전압 제어는 제철소의 압연기, 고속 엘리베이터의 제어 등에 사용된다.

3. 저항 제어

저항 제어(resistance control)는 그림 Ⅰ-45의 (a), (b)와 같이 전동기의 전기자에 직렬로 저항을 연결한 후에 저항의 값을 변화시켜 저항의 전압 강하인 RI_a를 변화시켜 속도를 제어하는 방법이다. 그러나 저항 제어는 전기자 전류 I_a에 의한 전압 강하가 크고 전력 손실이 많으며, 부하 변화에 따른 회전 속도의 변동이 크기 때문에 효율적인 제어 방법이 아니라 많이 사용하지 않는다.



(a) 분권 전동기　　(b) 직권 전동기

그림 Ⅰ-45 저항 제어를 이용한 속도 제어



전동기의 제동 방법

회전하고 있는 전동기는 전원을 차단시켜도 즉시 정지하지 않고 일정 시간 회전한다. 이것은 회전 부분의 관성 때문이다. 가정이나 산업용 장치와 기계는 필요에 따라 즉시 정지시킬 필요가 있다. 전동기가 즉시 정지하는 것을 제동이라고 한다. 직류 전동기의 제동 방법에는 기계적 방법과 전기적 방법이 있다.

기계적 방법은 자전거나 자동차와 같이 브레이크를 이용하여 회전 장치와 마찰시켜 회전력을 감소시킨다.

전기적 방법에는 발전 제동, 회생 제동, 역전 제동 방법이 있다.

- 발전 제동: 운전 중인 전동기를 전원에서 분리한 후에 발전기로 작용시켜 회전체의 운동에너지를 전기 에너지로 변환하고, 저항 안에서 줄열로 소비시켜 제동하는 방법이다.
- 회생 제동: 전동기를 발전기처럼 사용하여 발생되는 전력을 전원에 반환하여 제동하는 방법이다. 엘리베이터의 하강과 전기 기관차가 언덕을 내려가는 경우에 사용한다.
- 역전 제동: 전동기를 전원에 접속시킨 상태에서 전동기의 전기자 접속을 반대로 바꾸어 원래 회전하던 방향과 반대인 토크를 발생시켜 전동기를 급속히 정지시키는 방법이다.

실습 과제 4

직류 전동기의 속도 제어(계자 제어법)

<도면>

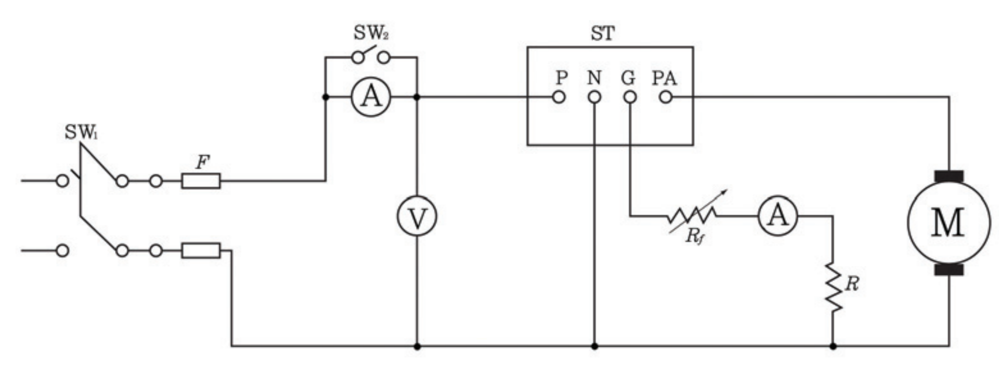


그림 I-46 전동기의 속도 제어 회로

사용 재료와 기기

직류 분권 전동기 1대, 가변 저항기(20[A] 이상) 1대, 직류 전압계(0~15[V]) 1대, 직류 전류계(0~5[A]) 1대, 직류 전류계(0~30[A]) 1대, 계자 저항기 1대, 회전계(0~4,000 rpm) 1대, 스위치(2P) 1개, 기동기(3단자) 1대, 스위치(1P) 1개

안전과 유의 사항

1. 전동기의 전원 전압은 정격 전압이 일정하게 유지되게 한다.
2. 계자 회로의 접속은 단선되지 않게 주의한다.

실습 순서

1. 그림 I-46과 같이 결선하고 계자 저항 R_f를 최소에서 점차 증가시켜 가면서 회전수를 측정한다.
2. 정격 속도의 120 %까지 속도를 변화시키면서 공급 전압과 계자 전류의 값을 기록한다.
3. 모눈종이의 가로축은 계자 전류 I_f, 계자 저항 R_f, 세로축은 회전수 N으로 정한 후에 측정 결과를 그래프로 그린다.

결과 정리

단자 전압 V[V]	계자 전류 I_f[A]	계자 저항 R_f[Ω]	회전수 N[rpm]



직류기의 측정과 검사

학습 목표 |

1. 발전기와 전동기의 내부 회로 구성을 이해하고, 측정기를 이용하여 단선 상태를 측정할 수 있다.
2. 측정기를 이용하여 발전기와 전동기의 권선 저항과 절연 저항을 측정할 수 있다.

1 단락 상태 검사

발전기와 전동기는 기계적인 안전성은 물론, 전기적으로도 안전한 상태를 유지하여야 한다. 전기적 안전은 사람의 생명에 영향을 끼치기 때문에 더욱 유의하여야 할 사항이다. 특히, 전류가 회로를 따라 정상적으로 흐르지 않고 발전기나 전동기의 금속제 외함에 흐르게 되면 감전에 의한 사고가 발생할 수 있기 때문에 직류기 내부 회로와 금속제 외함이 단락되었는지를 확인하여야 한다.

단락 상태를 확인하기 위하여는 외부와의 결선을 모두 분리시키고, 내부의 계자 권선과 전기자 권선의 결선도 분리시켜야 한다.

회로 시험기의 선택 스위치를 벨(부저)의 위치에 놓고 측정 단자를 리드선에 접속하여 단락 여부를 검사할 수 있다. 그림 Ⅰ-47과 같이 회로 시험기의 선택 리드선 두 개 중의 하나는 직류기의 금속제 외함에 접속시킨 후, 다른 하나는 계자 권선과 전기자 권선의 리드선에 차례로 접속한다. 이때, 권선이 금속제 외함과 단락되어 있으면 벨이 울리게 된다.

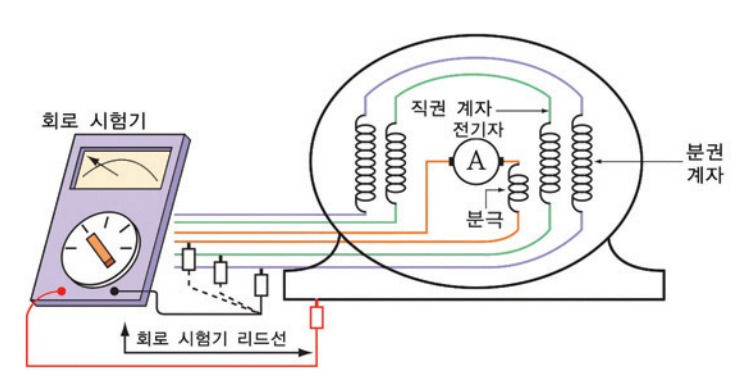


그림 Ⅰ-47 전동기의 단락 검사

2 단선 검사

직류 발전기와 직류 전동기의 계자 권선과 전기자 권선은 가늘고 긴 구리 선을 감아서 사용하고 있기 때문에 기계적인 충격과 전기적 충격 등에 의하여 계자 권선과 전기자 권선이 끊어지면 단선 여부를 확인하기가 매우 어렵다. 권선 이외도 브러시와 정류자의 접촉 불량, 계자 권선 상호 간의 연결 불량 등과 같이 단선의 원인은 다양하다. 이러한 단선의 상태를 확인할 수 있는 방법에 대하여 살펴보자.

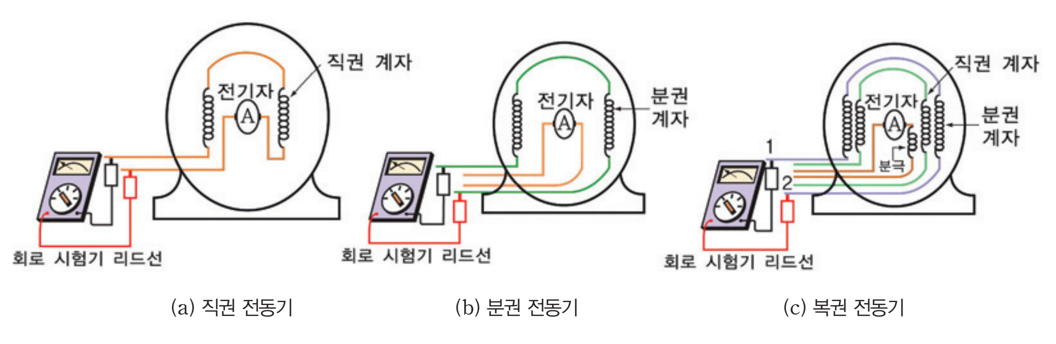
1. 직권 전동기의 단선 검사

직권 전동기의 계자 권선과 전기자 권선이 전동기 내부에서 직렬로 결선되어 있으며 외부에는 두 개의 리드선만 돌출되어 있다. 직권 전동기의 단선 검사는 회로 시험기를 이용하여 그림 I–48의 (a)와 같이 검사할 수 있다.

회로 시험기의 선택 스위치를 벨의 위치에 놓고 측정 단자를 리드선에 접속하여 단선 여부를 검사할 수 있다. 벨이 울리면 회로가 정상으로 구성되어 있는 것이고, 벨이 울리지 않으면 전기자와 계자 권선의 단선, 브러시와 정류자의 접촉 불량 등과 같이 회로가 단선된 것을 알 수 있다.

2. 분권 전동기의 단선 검사

분권 전동기의 계자 권선과 전기자 권선은 전동기 내부에서 병렬로 결선되어 있기 때문에 외부에는 두 개의 리드선만 돌출되어 있다. 분권 전동기의 단선 검사를 위하여는 계자 권선 회로와 전기자 권선 회로를 분리하고, 각각에 대하여 단선 유무를 검사하여야 한다. 회로 시험기를 이용하여 그림 I–48의 (b)와 같이 검사할 수 있다.



(a) 직권 전동기 (b) 분권 전동기 (c) 복권 전동기

그림 I–48 전동기의 단선 검사

3. 복권 전동기의 단선 검사

복권 전동기는 분권 계자 권선, 직권 계자 권선, 전기자 권선이 직·병렬로 연결되어 있다. 연결된 회로를 분리하면 그림 Ⅰ-48의 (c)와 같이 분권 계자 권선 회로, 직권 계자 권선 회로, 전기자 권선 회로에서 각각 두 개씩 모두 여섯 개의 리드선이 나오게 된다. 회로 시험기를 이용하여 각각의 회로를 점검하여 단선 유무를 확인할 수 있다.

3 권선 저항과 절연 저항 측정

1. 권선 저항 측정

전동기를 구성하는 계자 권선과 전기자 권선은 도체가 가지고 있는 일정한 크기의 저항값을 가지고 있다. 전동기의 권선 저항은 회로에 공급되는 전압과 회로에 흐르는 전류를 측정한 후에 옴의 법칙을 이용하여 구할 수 있다.

전기자 또는 계자 권선에 가해지는 전압을 V_a, 전기자 권선에 흐르는 전류를 I_a, 전압계의 내부 저항을 r_v라고 할 때에 전기자 저항 R_a(또는 계자 저항을 R_f)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_a(R_f)=\frac{V_a}{I_a-\left(\frac{V_a}{r_v}\right)}[\Omega] \qquad (\text{Ⅰ}-21)$$

2. 절연 저항 측정

전동기의 전기 회로와 전동기의 외부 금속함 사이에는 절연이 충분히 되어 있어야 한다. 절연이 충분하지 않으면 누전에 의한 감전, 화재 등의 사고가 발생할 수 있다.

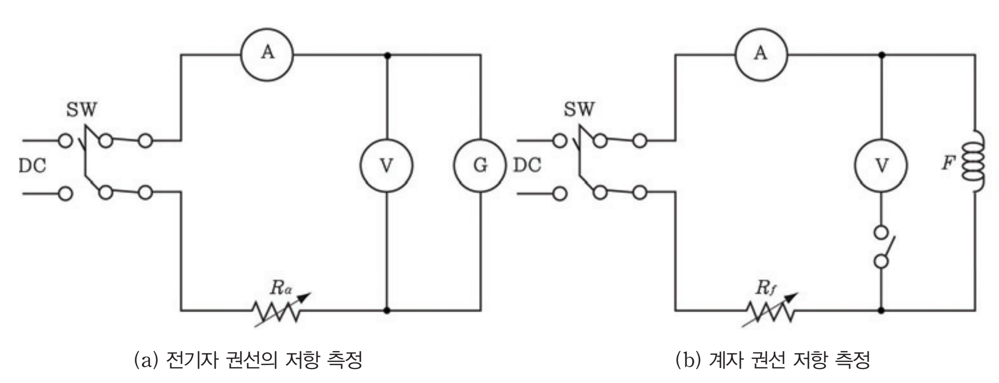
전동기의 절연 저항은 일반적으로 사용 전압에 따라 최저 절연 저항값을 규정하여 놓고 있다. 절연 저항을 측정할 때에는 메거(절연 저항계)를 이용하여 정확히 측정할 수 있다. 최저 절연 저항값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{최저 절연 저항값}=\frac{\text{정격 전압}[\text{V}]}{1000+\text{정격 출력}[\text{kW 또는 kVA}]}[\text{M}\Omega] \qquad (\text{Ⅰ}-22)$$



전동기의 전기자와 계자 권선 저항 측정

<도면>



(a) 전기자 권선의 저항 측정

(b) 계자 권선 저항 측정

그림 Ⅰ-49 전동기의 전기자와 계자 권선 저항 측정 회로

사용 재료와 기기

직류 발전기 1대, 직류 전동기 1대, 절연 저항계(500[V]용) 1대, 직류 전압계(0~150[V]) 1대, 직류 전류계(0~5[A]) 1대, 가변 저항기 1대, 스위치(2P) 1개

안전과 유의 사항

1. 전동기 내부의 계자와 전기자 권선이 손상되지 않게 한다.
2. 회전 부분을 점검할 때에는 공극에 이물질이 끼어 있는지 확인한다.

실습 순서

1. 그림 Ⅰ-49와 같이 접속한다.
2. 가변 저항기를 최대로 하여 전동기의 전기자와 계자 단자 사이에 직류 전압을 가하여 정격 전류의 15 % 정도의 전류를 흘린다. 이때의 전압계와 전류계의 지시값을 기입한다.
3. 측정된 전류값과 전압값을 이용하여 저항값을 계산한 후, 이를 평균하여 권선의 저항값을 구한다.

결과 정리

전기자 권선			계자 권선		
전압[V]	전류[A]	저항[Ω]	전압[V]	전류[A]	저항[Ω]
전기자 권선 평균 저항[Ω]			계자 권선 평균 저항[Ω]		

실습
과제 6

전동기의 절연 저항 측정

<도면> 실습 과제 5와 동일

사용 재료와 기기

직류 발전기 1대, 직류 전동기 1대, 절연 저항계(500[V]용) 1대, 직류 전압계(0～150[V]) 1대, 직류 전류계(0～5[A]) 1대, 가변 저항기 1대, 스위치(2P) 1개

안전과 유의 사항

1. 전동기 내부의 계자와 전기자 권선이 손상되지 않게 한다.
2. 전원을 반드시 차단하고 절연 저항을 측정하여야 한다.

실습 순서

1. 메거의 리드선을 단락하여 지침이 0이 되는지 확인한다.
2. 메거의 리드선을 개방하여 지침이 ∞가 되는지 확인한다.
3. 계자 권선과 철심 사이의 절연 저항값을 측정한다.
4. 전기자 권선과 철심 사이의 절연 저항값을 측정한다.
5. 타여자 전동기인 경우에 계자 권선과 전기자 권선 사이의 절연 저항값을 측정한다.
6. 위의 측정 과정을 3～4회 반복 측정하여 평균값을 구하고, 최저 절연 저항값을 구하는 공식에서 구한 값과 비교하여 본다.

결과 정리

전기자 권선			계자 권선		
전압[V]	전류[A]	절연 저항[Ω]	전압[V]	전류[A]	절연 저항[MΩ]
전기자 권선 평균 절연 저항[MΩ]			계자 권선 평균 절연 저항[MΩ]		



직류기의 효율과 정격

학습 목표 |

1. 직류기의 에너지 변환과 손실에 대하여 설명할 수 있다.
2. 직류기의 에너지 효율에 대하여 설명할 수 있다.
3. 직류기의 정격에 대하여 이해하고 설명할 수 있다.

1 에너지 변환과 손실

회전력을 전기 에너지로 변환시키는 발전기, 전기 에너지를 회전력으로 변환시키는 전동기는 여러 가지 원인에 의하여 에너지의 손실이 발생하게 된다.

직류 발전기와 직류 전동기의 에너지 손실에는 전기적 손실인 철손과 동손이 있으며, 기계적 손실에는 기계손이 있다.

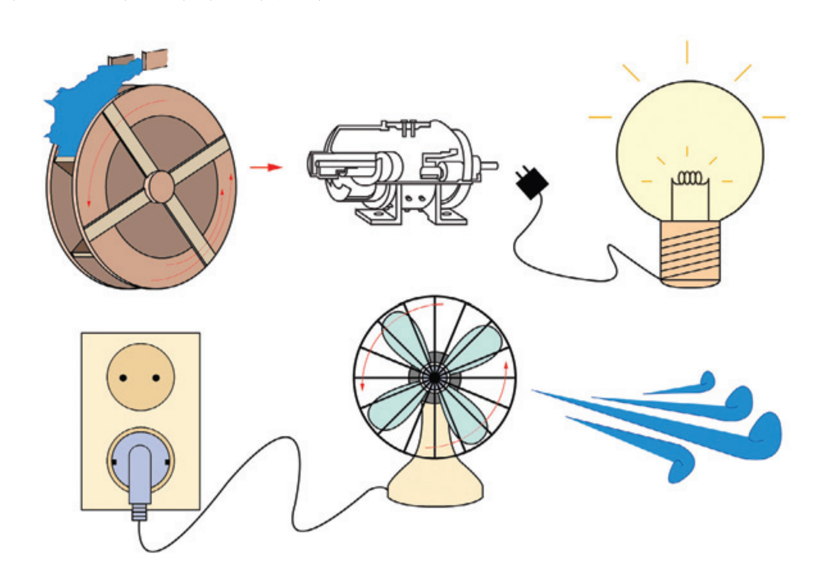


그림 Ⅰ-50 에너지의 변환 과정

1. 철손

철손(iron loss)은 전기자의 철심 안에서 자기력선속이 변할 때에 나타나는 것으로서, 자기 에너지의 손실이 발생되는 것을 뜻한다. 철손에는 철심에 가하여지는 자계의 변화에 따라 발생되는 히스테리시스 손실과 철심 표면을 흐르는 맴돌이 전류에 의하

여 발생되는 와류손이 있다. 철손을 감소시키기 위하여 얇은 규소 강판을 겹쳐서 전기자 철심을 제작한다.

2. 동손

동손(copper loss)은 도체에 전류가 흐를 때에 발생하는 줄열(Joule's heat)에 의한 열 손실로서 저항손 또는 구리손이라고 한다. 일반적으로 전기자 권선, 계자 권선, 브러시 접촉면 등이 가지고 있는 저항에 의하여 발생된다.

:: 참고자료

줄열

줄열이란 전류가 도체에 흐를 때에 발생하는 발열 작용을 말한다. 줄의 법칙을 이용하여 구할 수 있는 발열량은 전류의 제곱과 도체의 저항과 전류가 흐른 시간에 비례한다. 즉, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$Q=0.24I^2Rt=0.24VIt=0.24Pt$[cal]

전기장판, 전기밥솥 등과 같은 대부분의 전열 기구는 줄열의 가열 원리를 이용하고 있다.

2 효율

어떤 기계 장치에 공급되는 에너지(또는 전력)를 입력이라고 하며, 기계에서 생산된 에너지(또는 전력)를 출력이라고 할 때에 입력(P_1)에 대한 출력(P_2)의 비율을 에너지의 효율(η)이라 하며 다음과 같이 나타낸다.

$$\eta=\frac{출력(P_2)}{입력(P_1)}\times 100[\%] \qquad (\text{I}-23)$$

에너지의 효율을 계산하는 방법은 실측 효율과 규약 효율이 있다. 실측 효율은 실제 부하를 연결한 후에 입력과 출력을 측정하여 계산하는 방법이다.

규약 효율은 규정된 방법에 의하여 손실을 측정하여 계산하는 방법이다. 일반적으로 효율을 규약 효율을 사용하고 있다. 규약 효율에 의한 발전기와 전동기의 효율은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$발전기의\ 효율=\frac{출력}{출력+손실}\times 100[\%] \qquad (\text{I}-24)$$

$$전동기의\ 효율=\frac{입력-손실}{입력}\times 100[\%] \qquad (\text{I}-25)$$

3 정격

발전기와 전동기를 효율적이며 안정적으로 사용하기 위하여 전압, 전류, 속도 등에 일정한 한도를 정하여 사용하고 있다. 이러한 한도를 넘으면 손실의 증가, 온도 상승, 효율 감소, 전압 변동율의 증가 등이 발생하여 안정적으로 사용할 수 없다. 일정 한도 내에서 최대 출력을 발생할 수 있는 전압, 전류, 속도 등을 정격(rating)이라고 한다.

정격 출력일 때의 전압, 전류, 회전 속도 등을 정격 전압, 정력 전류, 정격 회전 속도라고 한다. 발전기나 전동기의 정격은 금속판에 기록하여 사용자가 쉽게 확인할 수 있도록 직류기의 외함에 붙여 놓는다.

읽을거리 우리나라의 전기 철도

전기 철도란 전기를 동력으로 하여 열차나 차량을 일정한 궤도 위에서 운행하는 철도를 말하는 것으로 고속 전철, 지하철, 전철, 전차 등과 같이 다양한 형태로 불리우고 있다.

세계 최초의 전기 철도는 1879년 독일에서 개최된 베를린 만국박람회에서 독일 지멘스 사가 직류 전기 기관차를 제작하여 선보임으로써 그 역사가 시작되었고, 영업을 목적으로 한 최초의 전기 철도는 1881년 독일의 지멘스 사가 2010년 베를린 교외에서 전기 철도를 운행함으로써 비롯되었다.

한국에서는 경인선이 개통되기 전 해인 1898년에 미국인 콜브렌과 보스트윅이 청량리–서대문 간에 직류 방식의 노면 전차를 운행하기 시작하였으며, 1915년에는 부산, 1923년에는 평양에 노면 전차가 개통되었다. 그러나 이들 노면 전차는 1968년 서울과 부산에서 도로 교통 상의 문제와 자동차에 밀려 사라지게 되었다.

1970년대에 경제 성장에 따른 화물 수송을 위한 산업 철도는 물론, 수도권의 도시 광역화와 교통 체증 해소를 위하여 서울시의 지하철 1호선을 시작으로 수도권과 광역 도시에서 지하철 등의 전철화 사업이 완공과 계획 중에 있다. 또, 2004년 서울–부산 간 고속 철도가 개통됨에 따라 우리나라는 프랑스, 일본, 독일, 스페인 등과 함께 시속 300 km의 초고속 철도 시대에 들어서게 되었다.

전기 철도는 직류 또는 교류 전원을 이용하고 있으며 동력을 얻기 위한 전동기, 다양한 형태의 전선로, 변전 설비, 제어와 통신 설비 등과 같이 전기 에너지의 이용과 제어 부분의 대부분의 영역을 포함하고 있다.


금강산 전기 기관차

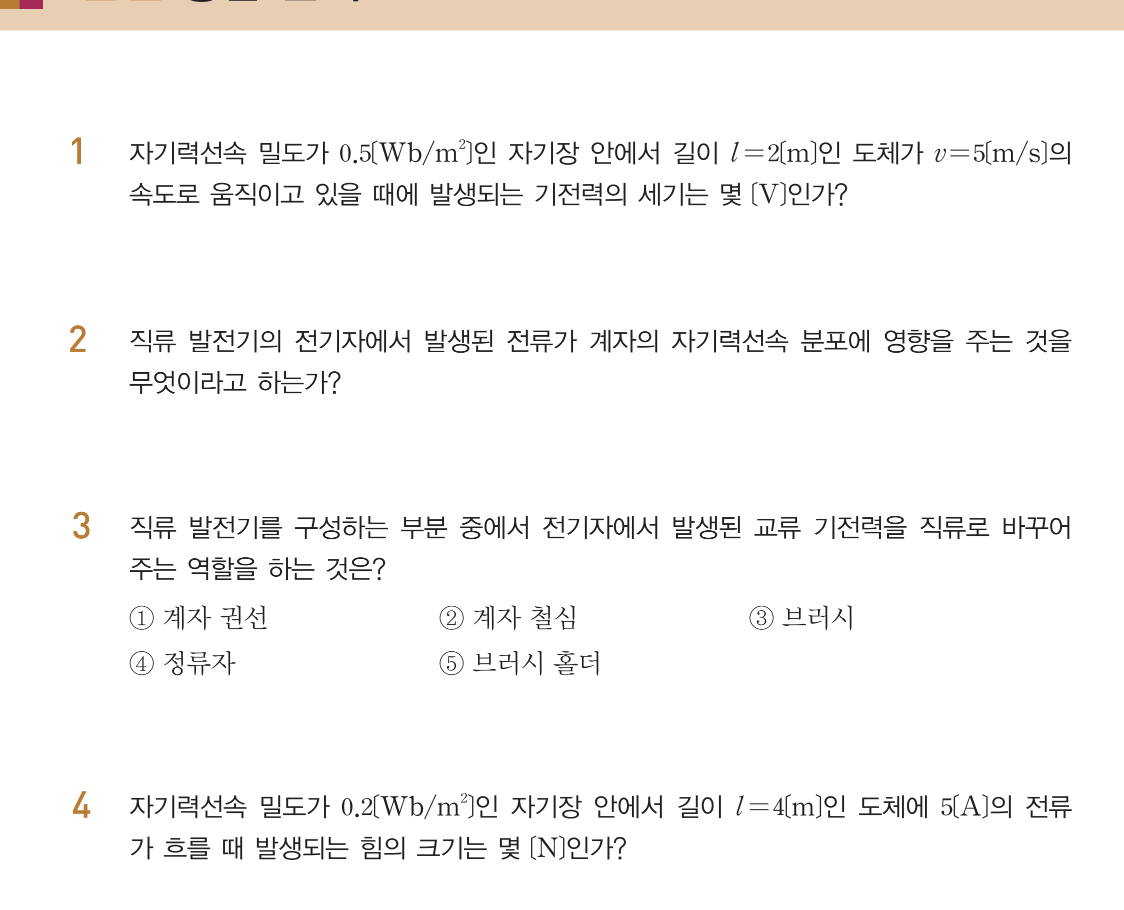

종로의 전차



전기 기관차

출처: 『브리태니커 백과사전』

단원 종합 문제



1 자기력선속 밀도가 0.5[Wb/m^2]인 자기장 안에서 길이 l=2[m]인 도체가 v=5[m/s]의 속도로 움직이고 있을 때에 발생되는 기전력의 세기는 몇 [V]인가?

2 직류 발전기의 전기자에서 발생된 전류가 계자의 자기력선속 분포에 영향을 주는 것을 무엇이라고 하는가?

3 직류 발전기를 구성하는 부분 중에서 전기자에서 발생된 교류 기전력을 직류로 바꾸어 주는 역할을 하는 것은?

① 계자 권선 ② 계자 철심 ③ 브러시
④ 정류자 ⑤ 브러시 홀더

4 자기력선속 밀도가 0.2[Wb/m^2]인 자기장 안에서 길이 l=4[m]인 도체에 5[A]의 전류가 흐를 때 발생되는 힘의 크기는 몇 [N]인가?

5 직류 발전기에서 자기력선속을 얻기 위하여 계자 권선에 전류를 흘려주는 것을 무엇이라고 하는가?

① 예비 발전 ② 병렬 운전 ③ 부하 연결
④ 여자 ⑤ 충전

6 직류 발전기 중에서 계자 권선과 전기자 권선이 병렬로 연결된 발전기는 무엇인가?

① 타여자 발전기 ② 직권 발전기 ③ 분권 발전기
④ 가동 복권 발전기 ⑤ 차동 복권 발전기

정답 | **1** $e=B\times l\times v$[V]에서 $e=0.5\times 2\times 5=5$[V] **2** 전기자 반작용 **3** ④ **4** $F=B\times l\times I$[N]에서 $F=0.2\times 4\times 5=4$[N] **5** ④ **6** ③ **7** $E=V+I_aR_a$[V]에서 200+20[A]×0.5[Ω]=210[V] **8** 전압 크기 일치, 균압선 설치, 발전기의 극성에 맞는 결선 **9** ③ **10** 계자 제어, 전압 제어, 저항 제어

7 무부하 상태의 타여자 직류 발전기가 있다. 전기자 전류가 20〔A〕, 전기자 저항이 0.5〔Ω〕일 때 단자 전압이 200〔V〕였다. 발전기에서 발생되는 유도 기전력은 몇 〔V〕인가?

8 직류 발전기를 병렬 운전하려고 한다. 병렬 운전을 하기 위하여 만족시켜야 하는 조건 세 가지는 무엇인지 쓰시오.

9 직류 전동기가 회전하고 있을 때에 입력 전압에 반대하여 전동기에서 발전이 되는 현상을 무엇이라고 하는가?

① 단자 전압　　② 입력 전압　　③ 역기전력
④ 토크　　⑤ 전기자 반작용

10 직류 전동기의 속도를 제어하는 세 가지 방법에 대하여 쓰시오.

인용 및 참고 문헌

- 고태언 외 7인(2007). 전기 기기. 서울: (주)북스힐.
- 교육부(1995). 전기 기기 실습. 서울: 대한교과서주식회사.
- 교육부(1997). 전기 기기. 서울: 대한교과서주식회사.
- 교육인적자원부(2009). 고등학교 전기 기기. 서울: (주)두산.
- 신재화 외 5인(2009). 전기 기기. 서울: 문운당.